



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANÁLISIS DEL RETROCESO DEL ACANTILADO Y PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

Trabajo realizado por:

TANIA RUBIO DE LA FUENTE

Dirigido:

VIOLA MARIA BRUSCHI

MIGUEL ÁNGEL SANCHEZ CARRO

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, Septiembre de 2020

TRABAJO FIN DE GRADO

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación no es solo es fruto del esfuerzo y horas trabajadas, sino que no habría sido posible sin la ayuda de muchas personas a las cuales, con estas líneas, me gustaría agradecer su tiempo y dedicación.

En primer lugar a mis directores del proyecto, Viola María Bruschi y Miguel Ángel Sánchez, por haber sido una gran guía durante la redacción de este TFG. Agradezco su tiempo invertido y su paciencia para enseñarme una pequeña parte del mundo de la investigación.

En segundo lugar a mi familia; que yo haya llegado a estar entregando un trabajo de fin de grado exitosamente es en gran parte gracias a mi madre quien siempre estuvo en las caídas y me educo en la constancia y el trabajo. Tampoco me olvido de mi abuela, quien me ha dado el cariño y el apoyo incondicional día a día incluso por teléfono.

Y por último, a mis amigos de la universidad y de fuera de ella por animarme a seguir siempre hasta el final y con la cabeza bien alta. Gracias Darío, Celia, Alejandro y Beatriz.

Quiero agradecer a todas las personas que han pasado y a las que forman parte de mi vida, ya que gracias a ellas soy quien soy ahora.



RESUMEN

Título del TFG: Análisis del retroceso del acantilado y propuestas de evaluación

Mención: Transporte y servicios urbanos

Autora: Tania Rubio de la Fuente

Directores: Viola María Bruschi y Miguel Ángel Sánchez Carro

Convocatoria: Septiembre 2020

Palabras clave: erosión, acantilado, retroceso, tasa de erosión, propuestas, Cantabria, evolución del acantilado.

Planteamiento:

El presente trabajo se centra en la identificación de aquellas áreas costeras caracterizadas por procesos de desprendimiento, asociados a la erosión costera y, por lo tanto, al retroceso del acantilado. Debido a factores como el calentamiento global, el factor humano entre otros muchos, se está acelerando el retroceso de la línea de costa.

El análisis se llevará a cabo a través del estudio de aquellas zonas costeras, en el entorno próximo a Santander, que están afectadas por desprendimientos de rocas, provocados por erosión a la base del acantilado.

El objetivo de este TFG es identificar las áreas más afectadas por este retroceso acusado de estos últimos años y proponer opciones de mitigación y corrección de la peligrosidad.

Para ello, se ha comenzado por estudiar las zonas que se van a analizar con una búsqueda bibliográfica de mapas de las áreas. Se encontraron mapas en formato digital y en papel. Posteriormente y haciendo uso del programa ARC MAP se comenzó a superponer los mapas y a comparar las líneas de costa obtenidas para diferentes periodos, desde 1946 hasta 2017. Simultáneamente al trabajo realizado en un entorno SIG se hizo trabajo de campo, fotografiando ciertos puntos de los tramos y cogiendo las medidas necesarias.

Todo esto con el fin de elaborar una base de datos, en un entorno SIG, que permita cuantificar el retroceso de la línea de costa, para los tramos de acantilados, así como definir la tasa de retroceso y, por lo tanto, la evolución de la línea de costa.

Por último, se pretende diseñar propuestas de mitigación y corrección de los posibles impactos generados por el retroceso del acantilado para aquellas áreas costeras que, desde el análisis, han resultado como las más afectadas. Se plantean las propuestas más adecuadas para cada área estudiada.



ABSTRACT

Title: Analysis of the retreat of the cliff and evaluation proposals.

Mayor: Transport and urban services

Author: Tania Rubio de la Fuente

Mentor: Viola María Bruschi and Miguel Ángel Sánchez Carro

Call: September 2020

Keywords: erosion, cliff, retreat, erosion rate, coastline, Cantabria, cliff evolution.

Approach:

This report focuses on identifying those coastal areas characterized by landslide processes, associated with coastal erosion and, therefore, with the receding of the cliff. Due to factors such as global warming, the human factor among many others, the retreat of the coastline is accelerating.

The analysis will be carried out through the study of those coastal areas, in the surroundings near Santander, which are affected by rockfalls, caused by erosion at the base of the cliff.

The objective of this final degree project is to identify the areas most affected by this marked decline in recent years and propose options for mitigate and correct the danger.

With this purpose, it has been studied the required areas. After a deep research, the study could be started using paper maps as well as maps on digital format. With the help of the ARC MAP software, it was possible to superpose one map the rest and compare the different changes that the coastline has experienced from 1946 to 2017. Field work was carried out simultaneously with the work carried out in a GIS environment, photographing certain points of the sections and taking the necessary measures.

All this in order to develop a database, in a GIS environment, that allows quantifying the retreat of the coastline, for the sections of cliffs, as well as defining the retreat rate and, therefore, the evolution of the coast line.

Finally, it is intended to design proposals for mitigation and correction of the possible impacts generated by the retreat of the cliff for those coastal areas that, from the analysis, have been the most affected. The most suitable proposals for each area studied are recommended in this project.

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS	13
3. ZONA DE ESTUDIO	14
3.1 ENCUADRE GEOLÓGICO.....	20
3.2 ENCUADRE GEOMORFOLÓGICO.....	23
GEOMORFOLOGÍA	23
PROCESOS ACTIVOS	29
4. METODOLOGIA DE TRABAJO	42
4.1. ZONAS ESTUDIADAS	46
ZONA 1 CABO MENOR Y CABO MAYOR	46
ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA	46
ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS (SUANCES)	47
4.2. TRABAJO DE CAMPO	48
ZONA 1 CABO MENOR Y CABO MAYOR	48
ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA	56
ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS (MIENGO)	57
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
ZONA 1 CABO MAYOR.....	59
ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA	63
ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS (MIENGO)	67
6. PROPUESTAS.....	84
ZONA 1 CABO MENOR Y CABO MAYOR	87
ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA	88
ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS (MIENGO)	89
7. BIBLIOGRAFÍA.....	90

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Crecimiento urbanístico en Suances 1956/57 - 2017 (Mapas Cantabria).....	10
Figura 2: Crecimiento urbanístico en Mogro 1956/57 – 2017 (Mapas Cantabria)	10
Figura 3: Crecimiento urbanístico de La Arnía 1956/57 – 2017 (Mapas Cantabria)....	11
Figura 4: Esquema de cómo el cambio climático afecta al sistema costero (Inspirado en el del Ministerio español del medio Ambiente -PNACC- https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf)	11
Figura 5: Ubicación de la zona de estudio.....	14
Figura 6: Áreas de estudio	15
Figura 7: Gráfico 2019 de precipitaciones (Datos de CIMA, Centro de Investigación del Medio Ambiente).....	17
Figura 8: Ejemplos de los daños causados por los agentes meteorológicos en la costa de Santander.. (Eva Miguelez, 2014)	18
Figura 9: Grieta y caída de bloques en la tormenta de noviembre de 2019	18
Figura 10: Esquema de formación de un sinclinal. En primer lugar se da lugar a la sedimentación de los sedimentos, posteriormente procede el plegamiento por esfuerzos internos y por último se procede a la erosión, dejando a la vista el sinclinal. (Esquema sacado del folleto de Costa Quebrada, Parque Geológico).	20
Figura 11: Mapa Geológico Predominan las calizas arenosas en casi toda la línea de acantilado.....	21
Figura 12: Movimiento de las olas (Tarbuck)	24
Figura 13: Imagen de la caliza en la zona de Cabo Menor. Se observa un Micraster, erizo fosilizado, que vivía en los sedimentos que componen actualmente esta caliza ...	26
Figura 14: Mapa geomorfológico. La costa es una zona de interacción entre procesos terrestres y marítimos. Es un ambiente de transición y por tanto, complejo. Además, las zonas costeras son las de mayor actividad humana.	27
Figura 15: La glaciación. (Viola Bruschi)	30
Figura 16: La inundación del mar.	30
Figura 17: El desmantelamiento	30
Figura 18: Estado actual	30
Figura 19: Estado futuro	30
Figura 20: Localizaciones de los diferentes estados de erosión en Costa Quebrada En esta imagen (basado en el trabajo hecho por Díaz Terán (2016)) se explican los diferentes estados erosivos de Costa Quebrada.	31
Figura 21: Mapa de procesos activos. En la zona del estudio destacan sobre todo los coluviones como procesos activos en toda el área de estudio. Hay ciertas zonas que están afectadas por la solifluxión. Hay algunos puntos con vertientes de bloques y una zona muy concreta en Tagle con área acarcavada.	33
Figura 22: Diaclasado de Cabo Menor	35
Figura 23: Esquema del proceso de desmantelamiento de acantilado en esta área. Es la evolución típica de una costa acantilada con tránsito de acantilado vivo a acantilado muerto.....	36



Figura 24: En el caso del acantilado hacia el este, siendo la dirección de buzamiento de los estratos a favor de la pendiente, se producen corrimientos de bloques, con casi la total ausencia de acumulación de los mismos al pie del acantilado. Autora; Viola Bruschi.....	37
Figura 25: En el caso del acantilado hacia el oeste, la dirección de buzamiento de los estratos es contraria a la inclinación del acantilado y, por lo tanto, se producen caídas de bloques.....	37
Figura 26: Rasas litorales desde Cabo Mayor	38
Figura 27: Explicación de la rasa según Viola Bruschi.....	38
Figura 28: Líneas de oleaje. Cabo Mayor y Cabo Menor. (Fotografía de google Earth).....	38
Figura 29: Sinclinal.	39
Figura 30: Tómbolo.....	39
Figura 31: Cascada	39
Figura 32: En amarillo se señalan las líneas de acantilado antiguas, distinguidas por restos de farallones que quedan. En círculos rojos y numerados están en orden se muestra el proceso que sucede desde el socavón hasta una ensenada. El 1 sería el socavón como tal, después habría un paso intermedio mostrado en la foto de izquierda, donde el centro del socavón se desplomaría y se formaría una especie de puente natural. Posteriormente, en el numero 2 tenemos cuando este puente natural se desploma. Y en los siguientes números, 3 y 4 vemos como ya se va formando la ensenada y en el 4 se llena de agua e incluso puede llegar a hacer una pequeña playa de arena.	40
Figura 33: proceso de creación del socavón.....	40
Figura 34: Playa de Caballos (Google Earth, 2019).....	41
Figura 35: Proceso erosivo de la playa de Caballos.....	41
Figura 36: Mapa indicativo del área de estudio. Se indica recuadrado en negro en el mapa creado con Arc Gis y se muestran los kilómetros de la línea de costa sobre una captura de Google Maps.	42
Figura 37: Mapa que muestras las 3 divisiones en el área de estudio, denominadas; zonal, 2 y 3 y correspondientes a cabo Menor y Mayor, La Arnía y Covachos y la playa de Caballos respectivamente. Creado con Arc Gis.....	43
Figura 38: Diagrama de flujo	44
Figura 39: Foto de campo del murete del campo de Golf junto a la playa de Matalaños. Se aprecian las grietas producidas por el movimiento de la ladera. (Propia).....	48
Figura 40: Fotografía tomada desde el paseo de Cabo Menor con dirección a Cabo Mayor. Se observan zonas amarillentas, las que posiblemente son las que han sufrido los temporales más recientes. (Propia)	49
Figura 41. Zoom de la fotografía 11. Se observa un pequeño deslizamiento en forma de U invertida.	49
Figura 42: Foto de las baldosas del paseo de la Playa de Matalaños. Se aprecian las grietas rotas y basculadas a causa de la presión que ejerce el terreno. (Propia).....	50
Figura 43: Diaclasas en Cabo Menor	50
Figura 44: Fotografía de la grieta y el hueco del bloque caído en noviembre de 2019. (Propia)	51
Figura 45: Fotografía desde un punto de vista inferior de los bloques en escalera. En la parte superior, la profesora Bruschi y Tania junto a la grieta. (Propia)	51
Figura 46: Foto de los bloques en el pie del acantilado. (Propia)	51



Figura 47: Fotografía en las cercanías de Cabo Mayor. Se muestra como la maleza engaña a la vista haciendo parecer que hay más acantilado del que realmente hay y esto se demuestra cuando el terreno queda al descubierto. En este caso la línea de acantilado se encuentra muy cercana al paseo. (Propia).....	52
Figura 48: Fotografía de la colocación de las redes de contención en Mataleñas. (Propia)	52
Figura 49: Fotografía de las grietas en Cabo Mayor. (Propia)	52
Figura 50: Foto de campo en las cercanías del faro de Cabo Mayor. Se observa un hueco grande en la pared de la línea del acantilado. Más tarde (en las figuras	53
Figura 51: Foto de campo en las cercanías del Faro de Cabo Mayor. Se muestran los mordiscos del terreno debidos a caídas de bloques.	53
Figura 52: bloque caído 2014	53
Figura 53: En 2010 aún no se ha caído el bloque.	54
Figura 54: Fotografía de un conducto kárstico en las cercanías del faro de Cabo Mayor.	55
Figura 55: Dolinas en Cabo Mayor. (Propia)	55
Figura 56: Fotografía de la ensenada de La Arnía. Se observan las calizas.....	56
Figura 57: Fotografía donde se observan las líneas de acantilado antiguas en amarillo y en rojo los distintos estados por los que pasa el terreno para pasar de ser un socavón hasta una gran ensenada con playa.	56
Figura 58: Fotografía de la línea de acantilado de la Playa de caballos. (Propia).....	57
Figura 59: Fotografía de indicios de roturas y grietas en la Playa	57
Figura 60: Fotografía de las vallas tumbadas a causa de que el terreno está saturado de agua y tiende a deslizarse hacia la menor altura; el acantilado.	57
Figura 61: Numerosas dolinas en la Playa de Caballos. Acompaña a lo comentado en este trabajo, la playa de Caballos tiene un terreno poco competente y por esos tiende a colapsar y a formar deslizamientos.	57
Figura 62: Ejemplo de proceso gravitacional por caída de bloques presente en la zona de Cabo Mayor. Se observa la presencia de bloques caídos comparando la imagen de la izquierda del año 2010, y de la derecha correspondiente al año 2014.	59
Figura 63: Imagen aérea de la Zona de Cabo Mayor. Se indican los tres sectores seleccionados (Faro 1, 2 y 3), así como las líneas de acantilados cartografiadas sobre la base de las imágenes aéreas correspondientes a los años 1946, 1956, 2002, 2007, 2010, 2014 y 2017	59
Figura 64: Imagen del entorno de Cabo Mayor. Se muestran los tres sectores elegidos donde se han tomado las medidas en ArcGis (líneas rojas)	60
Figura 65: Se muestran los detalles de la zona de medida, y se aprecia la línea de costa correspondiente al año 1946, no considerada en el análisis.	60
Figura 66: Mapa de la evolución de la línea de costa del sector Faro 2. Se aprecian las diferentes líneas de costa, así como su irregularidad correspondiente a la caída de grandes bloques.	61
Figura 67: Mapa de las líneas de acantilado para el sector Faro3, con ubicación exacta de donde se han tomado las medidas.....	62
Figura 68: Imagen aérea del entorno a la Arnía y a Covachos. Se muestran los tres sectores (Arnía 1, 2 y 3), así como las líneas de acantilado cartografiadas sobre la base de las imágenes aéreas correspondientes a los años 1946/7, 1956, 2002, 2007, 2010, 2014 y 2017.	63



Figura 69: Se muestran los detalles de la zona medida en el sector Arnia 1. En líneas rojas se indica donde se tomaron las medidas máximas y mínimas.....	64
Figura 70: Mapa de las líneas de costa de la Arnía 2, se observa su evolución con el paso del tiempo y el retroceso de la línea. También se muestra la línea roja, que es donde se tomó la medida.	65
Figura 71: Mapa del entorno de la Arnía 3, donde se muestra el socavón. Se midió donde se encuentra la línea roja y lo que se midió fue el espacio que hay entre la línea de acantilado y el socavón.	66
Figura 72: Imagen aérea de las cercanías de la Playa de Caballos. Se indican los tres sectores seleccionados (Caballos 1, 2 y 3), así como las líneas de acantilados cartografiadas sobre la base de las imágenes aéreas correspondientes a los años 1946, 1956, 2002, 2007, 2010, 2014 y 2017	67
Figura 73: Mapa de Caballos 1 donde se muestran las líneas de acantilado de os diferentes años y rodeado con un ovalo verde se indica el residuo caído de los derrumbamientos.	68
Figura 74: Mapa indicativo de donde se tomaron las medidas en Caballos 1 con las líneas de acantilado de todos los años estudiados. (Líneas rojas).	68
Figura 75: Mapa de la zona Caballos 2, con las líneas de acantilado de todos los años analizados sobre una fotografía aérea.....	69
Figura 76: Mapa de las cercanías de la playa de Caballos que muestra la subdivisión Caballos 2 con las líneas rojas que indican donde se midió.....	70
Figura 77: Líneas de acantilado ampliadas de caballos 1.Se muestran los dos grandes deslizamientos; a la derecha el más grande, a la izquierda el pequeño y el pico. En rojo la medida tomada. En azul el pico con medidas que llamaron la atención.	70
Figura 78: Mapa con las líneas de acantilado de los años analizados y sobre una fotografía aérea del área caballos 3.	71
Figura 79: Mapa de la ubicación de donde se tomó la medida en caballos 3, aparcamiento.....	72
Figura 80: Gráfico con las tasas de retroceso del acantilado (m/año) para los dos períodos analizados (1946-2002; 2002-2017) y total (1946-2017).	77
Figura 81: Representación de la evolución de la Tasa de Retroceso (m/año) a lo largo de todo el período analizado (1946-2017) para todos los sectores. Con línea negra y discontinua se representa la línea de tendencia.	79
Figura 82: Representación de la evolución de tasas de retroceso (m/año), a lo largo de todo el período analizado y para cada sector estudiado.....	80
Figura 83: Mapa de pendientes. Creado con Arc Gis.....	82
Figura 84: Mapa de orientaciones. Creado con Arc Gis.....	83
Figura 85: Plan de Ordenación del Litoral (POL). Ley 2/2004.....	84
Figura 86: Dolinas en el entorno de la Playa de Caballos.	89
Figura 87: Estacas en el entorno de la Playa de Caballos	89



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Área de interés y sus intereses geológicos y geomorfológicos particulares.....	16
Tabla 2: Síntesis de los datos de resultados. Se muestran las medidas máximas, mínimas y medias de todos los años y para todos los sectores de costa analizados.	74
Tabla 3: Medidas de retroceso del acantilado en los diferentes sectores. Se reflejan los datos de retroceso para los dos primeros períodos (R) y totales (R TOT) expresados en metros, y las tasas de retroceso para cada período analizado (TR), así como los valores totales (TR TOT), expresados en m/año.....	75
Tabla 4: Resultados de las tasas de retroceso expresado en porcentajes sobre el total factor de aceleración en valor absoluto y en porcentaje.	76

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio nace del trabajo hecho durante nueve meses y tiene como objetivo servir como desarrollo de una ‘nueva visión’ de la costa, analizando la peligrosidad y encontrando posibles soluciones al proceso de retroceso del acantilado que está teniendo lugar.

La costa española está superpoblada, casi el 50 % de la población viven en la costa, que como tal representa solo un 8,8 % de la superficie total. Adicionalmente hemos de tener en cuenta que un 36 % de la línea de playa está completamente urbanizada. ("La costa en cifras", 2020). Debido a la concentración de población en la línea de costa y el turismo se ha desarrollado la actividad antrópica en la franja costera lo cual ha acelerado el Cambio Global, ocasionando riesgos como derrumbes o caídas de bloques en lugares que tienen una gran importancia turística y por lo tanto tienen una gran densidad de población.

El relieve costero de Cantabria se caracteriza por una cadena de acantilados de los cuales el 87 % tiene una altitud menor de 100 metros y solo el 1,1 % de la misma excede los 300 metros de altitud. (Morales, 2019). Los paisajes denominados como más bellos y espectaculares se caracterizan por tener un fuerte carácter geológico y geomorfológico, además de contener abundantes procesos activos que dotan de encanto a la zona.

Si se consideran los aspectos de ocupación antrópica de las zonas costeras, cada vez más evidentes, y el proceso general de retroceso de la línea de costa, también cada vez más acusado, nos encontramos frente a una situación de riesgo geológico, que cabe analizar detalladamente, para intentar proporcionar herramientas útiles para una correcta identificación y gestión de los posibles impactos derivados.

Por otro lado, debido al calentamiento global, las zonas costeras están siendo afectadas por una paulatina subida del nivel del mar. Según el último informe del Ministerio de Medio Ambiente se espera que haya modificaciones en las precipitaciones anuales. En concreto, se espera una disminución de lluvias (de un $-0,44\%$ /al año en la costa cántabra según el PNACC) y a la vez, en la costa norte, se espera un aumento del nivel del mar de 2.5 mm al año. En este escenario y como conclusión del estudio del ministerio de medio ambiente español, se prevee la posible desaparición del 40% de playas de la costa cántabrica. (Morales, 2019; Bird E.C.F, 1983).

Las principales causas de la erosión costera se dividen en dos:

- Naturales:
 1. La elevación del nivel marino.
 2. Los temporales, cada vez más reiterados. En estos se incluyen:
 - Oleajes más fuertes y por lo tanto más agresión contra los acantilados y el consiguiente desgaste que este produce.
 - Las fuertes lluvias torrenciales que en zonas de materiales más débiles (como puede ser la Playa de Caballos, en Suances, o la Playa de Covachos en Soto de la Marina) ayudan a producir deslizamientos.

En La playa de Covachos destaca la cascada que cae desde lo alto del acantilado. Se observa en este punto que el retroceso del

acantilado ha sido y está siendo más rápido que la erosión por la escorrentía. Ya que si fuese al revés el riachuelo llegaría hasta cota 0 y no es así, sino que cae desde una buena altura.

Además en esta playa existe una pequeña gruta, la cual también es un buen indicador de la fuerte erosión que se está desarrollando.

3. El transporte sedimentario por las corrientes, el oleaje y los vientos.
 4. Reducción del aporte de sedimentos a las playas.
- Artificiales
 1. Actuaciones antrópicas.
 - Construcciones urbanas, tanto sobre dunas como en un perímetro cercano a la línea de acantilados. Ya que estos funcionan como un reservorio natural.
- Desde 1940 el rápido crecimiento de las urbanizaciones ha llevado consigo una fuerte degradación paisajista y esto se denota en los resultados obtenidos en el estudio. Esto ha conseguido un retroceso acelerado de la línea de costa.



Figura 1: Crecimiento urbanístico en Suances 1956/57 - 2017 (Mapas Cantabria)



Figura 2: Crecimiento urbanístico en Mogro 1956/57 – 2017 (Mapas Cantabria)



Figura 3: Crecimiento urbanístico de La Arnia 1956/57 – 2017 (Mapas Cantabria)

El proceso erosivo provoca el retroceso de la línea de costa y a este primero le ayudan muchos generadores de cambio como la subida del nivel del mar, el calentamiento global, pero uno de los más importantes y a su vez que se puede controlar es el antrópico. Es el hombre desde que llegó a las costas quien las ha modificado en muchos aspectos, ganando terrenos al mar, utilizando las dolinas como vertederos naturales o construyendo infraestructuras cercanas a la línea de acantilado entre otras. (Figura 4). Gran parte de las playas de Cantabria se sitúan en estuarios, que son zonas de fácil acceso con el coche, con lo cual, han sido gravemente modificadas por la acción humana. Normalmente con el fin de ocupar espacio para la construcción o para controlar la navegación de los puertos. (Morales, 2019)

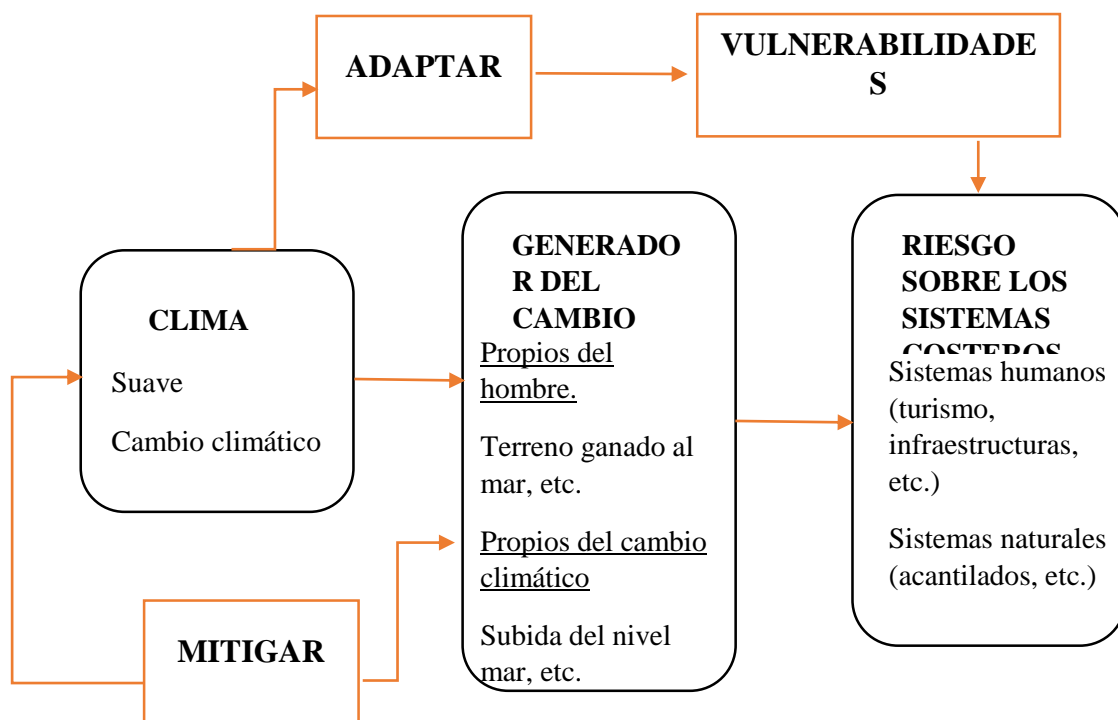


Figura 4: Esquema de cómo el cambio climático afecta al sistema costero (Inspirado en el del Ministerio español del medio Ambiente -PNACC- https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf)



Considerando a España como un país con gran afluencia turística en la costa, de gran valor paisajístico y con superpoblación en la línea de costa se plantean las propuestas de mitigación del proceso erosivo. Las propuestas se han realizado teniendo como objetivo principal evitar un gran impacto paisajístico y haciendo hincapié en su sostenibilidad. La decisión es concienciar a la población del riesgo y dejar que el proceso siga su ciclo sin intervenir en él, aunque se entiende que esta medida es muy radical y por eso se han propuesto otras opciones.



2. OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo que aquí se presenta, es un análisis geomorfológico de la evolución temporal de la línea de costa en las últimas décadas, exactamente de los años; 1946/7, 1956, 2002, 2007, 2010, 2014 y 2017. Por ello, se han analizado los principales tramos costeros que están afectados por procesos de desmantelamiento y, por lo tanto, que representan claros ejemplos de retroceso de la línea de costa.

Para el análisis se han seleccionados los tramos caracterizados por costas acantiladas por constituir aquellas áreas donde las modificaciones de la línea de costa, producidas por procesos de erosión, son más evidentes. Adicionalmente, estas zonas de acantilado permiten también una estimación más fiable.

Para determinar la evolución temporal de la línea de costa se propone llevar un estudio midiando, en diferentes tramos, el retroceso de la línea de acantilado usando como base las fotos aéreas y ortofotos disponibles en un intervalo de tiempo comprendido ente 1946/7 y 2017. En un entorno SIG se cartografiarán las líneas de costa correspondientes a cada zona y, para cada fotografía aérea considerada, se llevará a cabo una comparación sucesiva entre sí. De esta forma, se pretende obtener:

- Los desplazamientos de la línea de costa que representan los valores de retroceso total para cada zona.
- Los valores de retroceso parcial de cada periodo.
- La tasa de erosión para cada zona considerando el intervalo temporal total.

Con el fin profundizar algo más en el análisis del proceso de erosión de las costas acantiladas, se ha analizado la posibilidad que algunos factores internos o externos condicionen la susceptibilidad de los acantilados frente a la erosión, favoreciendo y controlando el proceso de desmantelamiento. Los parámetros considerados han sido la litología que constituye el acantilado, su orientación y la pendiente.

Por último, se proponen posibles medidas de corrección y/o mitigación de los posibles impactos producidos por el retroceso de la línea de acantilado. En un futuro incierto, se plantearán nuevos objetivos con respecto al cambio del nivel del mar y al retroceso de la línea de acantilado, por ahora las propuestas se centran en el ciclo natural de los acantilados.

3. ZONA DE ESTUDIO

Para poder obtener una estimación de la tasa de erosión de la línea de costa, se han seleccionado aquellas áreas donde los efectos producidos por los procesos de erosión fuesen más evidentes y, por lo tanto, donde la medición de dichos efectos fuese más fiable y precisa.

Es por ello, que este análisis se ha centrado exclusivamente en el tramo costero comprendido entre las localidades de Santander y Miengo, en Cantabria, en el norte de España (Figura 5)

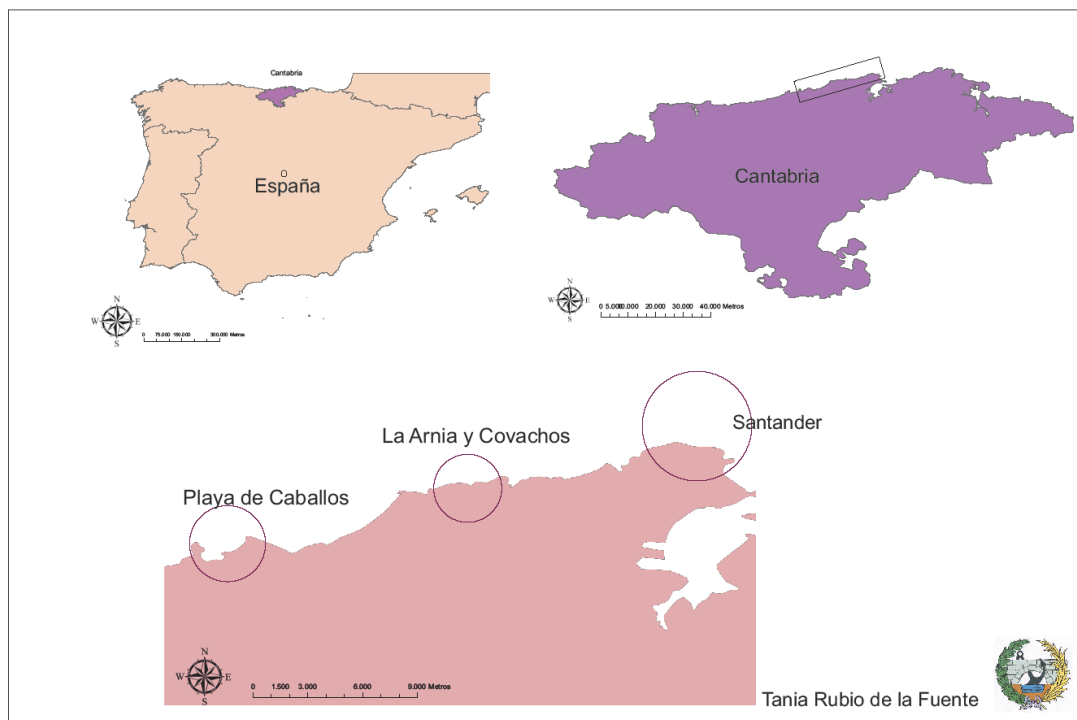


Figura 5: Ubicación de la zona de estudio

Más en detalle, la zona analizada se extiende desde Cabo Menor (Santander) al este, hasta Playa de Los Caballos, al oeste (Miengo), y dentro de este sector, se han seleccionado los siguientes tres tramos principales de acantilados: Zona 1: Cabo Mayor y Cabo Menor (Santander); Zona 2: La Arnía y Covachos; Zona 3: Playa de Los Caballos (Miengo); (Figura 6)

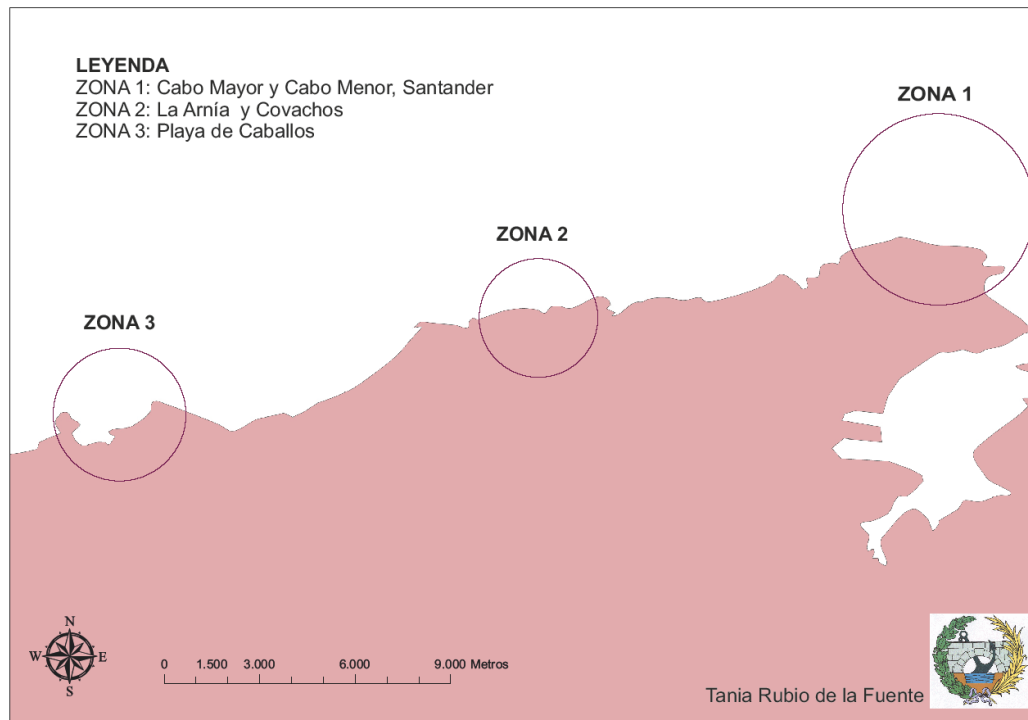


Figura 6: Áreas de estudio

Se estudia el inminente retroceso que sufre la línea de costa en un tramo costero de Cantabria que abarca desde Santander hasta Miengo. Especialmente el estudio se ha centrado en las áreas con acantilados pronunciados ya que su erosión es más notable y peligrosa. Dentro de todos los acantilados altos que hay en este tramo se han elegido tres zonas atendiendo a dos motivos; en primer lugar a la visibilidad en mapa de la erosión, en este caso donde mejor se ve es en acantilados de grandes dimensiones, ya que la información base se ha conseguido a través de bases cartográficas y ortofotos, de las cuales, muchas estaban movidas, o el clima en el momento del vuelo fotogramétrico no acompañaba a la situación, siendo el mismo nublado por ejemplo el segundo motivo tienen que ver con el proceso en sí de la erosión del acantilado, y es que la erosión es un proceso que bien puede ser muy rápido (caída de bloques, derrumbes, etc.) o un proceso muy lento. Por esa razón, se han escogido acantilados donde estos procesos se vislumbran a través de desprendimientos de bloques o derrumbes de tierra. Las tres áreas elegidas se describen en el siguiente cuadro resumen donde además se señalan los factores más importantes de interés geológico y geomorfológico. (Tabla 1)

Tabla 1: Área de interés y sus intereses geológicos y geomorfológicos particulares.

ÁREAS DE INTERÉS		
ÁREA	INTERÉS GEOLÓGICO	INTERÉS GEOMORFOLÓGICO
CABO MAYOR Y CABO MENOR	<u>Calizas</u> del Mesozoico	Procesos costeros Karst (Antiguo Puente del Diablo) Diaclasado
COVACHOS Y ARNIA	<u>Calizas</u> del Mesozoico (Cretácico Superior)	Evolución de la morfología litoral. Evolución de la línea de costa.
PLAYA DE CABALLOS	Material blando (<u>areniscas y limolitas</u>) Litologías del Cretácico Inferior (Aptiense)	Deslizamientos y dolinas

Cantabria, es una región que en general, se caracteriza por dos sistemas muy diferenciados, la zona montañosa y la marina. Posee un importante patrimonio natural con gran atractivo turístico y afluencia de visitantes, muchos de los cuales, se centran en la costa. Es la cuarta provincia más montañosa de España atendiendo al desnivel del terreno. (INE, 2020)

En general, la zona costera está caracterizada por abundantes lluvias, en 2019 fueron 1017,45 l/m² repartidos en los doce meses del año, siendo noviembre el mes que más milímetros de agua se acumularon. La máxima precipitación recogida en 2 horas fue de 199,7 mm (l/m²) el día 23 de enero en Ruate. (Figura 7)

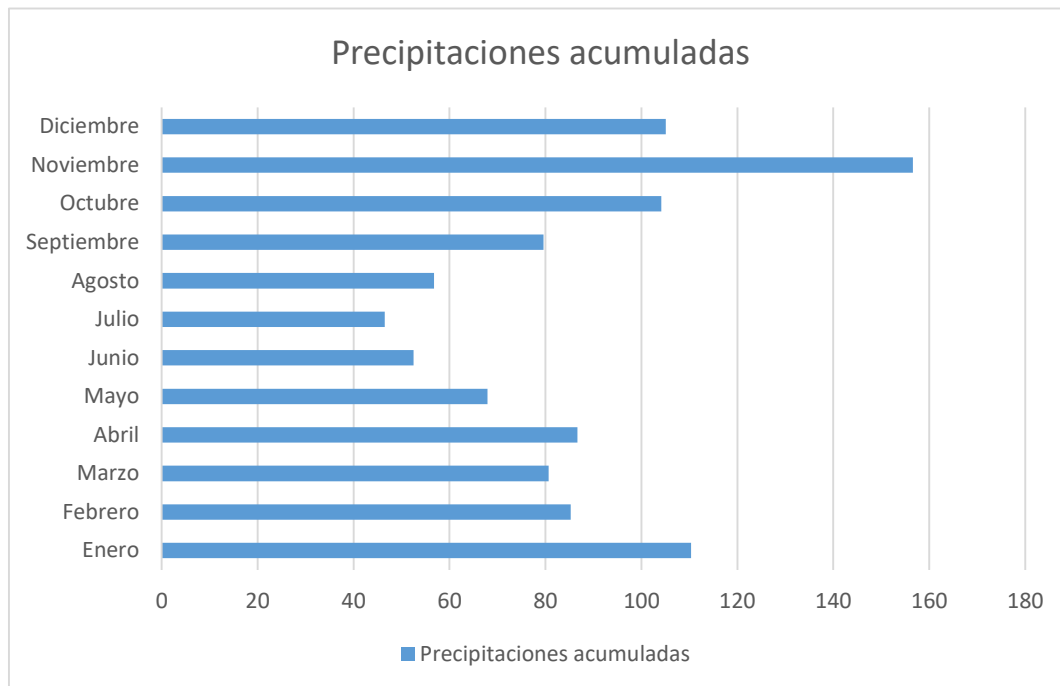


Figura 7: Gráfico 2019 de precipitaciones (Datos de CIMA, Centro de Investigación del Medio Ambiente)

Por otro lado, en la zona costera los vientos dominantes son los del noreste y oeste, este último con frecuencia está acompañado por fuertes lluvias y tormentas, representando un importante agente erosivo que afecta a la línea de costa. La máxima racha de viento fue de 126 km/h el día 3 de septiembre en Santander ("Rachas de viento de 126 kilómetros por hora azotan la costa cántabra" El Diario Montañés, 2019). Estos temporales suelen ir acompañados de fuertes lluvias y tormentas, mientras que los vientos del sur están caracterizados por temperaturas más suaves. Estas últimas también vienen definidas por la escasa altitud y la cercanía al mar.

Las elevadas precipitaciones y la presencia de fuertes tormentas, son uno de los factores dominantes de la erosión y, por lo tanto, del retroceso de los acantilados. Esto se debe a que producen un alto nivel de humedad que se traduce en una intensa meteorización de la roca, además de procesos de erosión mecánica tanto sobre las playas, como en el pie de los acantilados.

Por último, un aspecto muy importante a tener en cuenta en este tramo costero, y en relación con el objetivo de este trabajo, es el rango de mareas, que caracteriza toda la costa atlántica, y que pueden representar oscilaciones del nivel del mar, de hasta 5 m (<http://www.aemet.es/>), cuya capacidad erosiva se ve incrementada en los momentos de fuertes tormentas y marejadas. Desde hace años la costa santanderina se ve afectada por estos temporales, un buen ejemplo es el temporal de 2014 o el del año pasado; 2019. Pero cabe decir que estas fuertes tormentas están presentes todos os años.

En febrero de 2014 aparecieron aceras levantadas, barandillas destrozadas, árboles caídos...

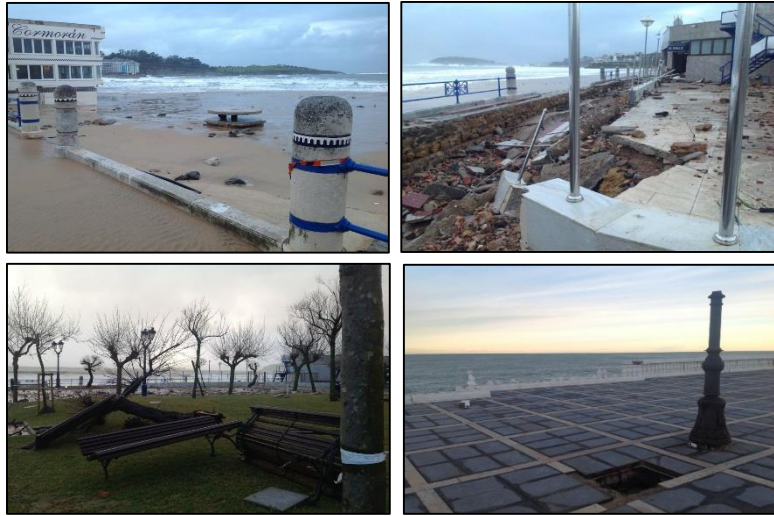
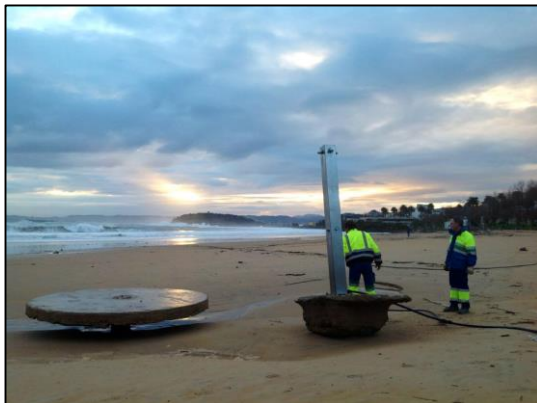


Figura 8: Ejemplos de los daños causados por los agentes meteorológicos en la costa de Santander.. (Eva Miguelez, 2014)



En esta última foto se observa como la marejada ha erosionado la playa, dejando la base de las duchas al descubierto. Este fenómeno es algo que ocurre cada año, y cada año hay que reponer arena en las playas. ("destrozos archivos | EL TOMAVISTAS DE SANTANDER", 2016)

En noviembre de 2019 hubo otro temporal importante en Santander, en el cual se derrumbó un volumen importante del acantilado de Cabo

Menor. En la fotografía tomada pocas semanas después del incidente se observa la grieta y la pérdida del terreno a la derecha del camino.

Figura 9: Grieta y caída de bloques en la tormenta de noviembre de 2019



ENCUANDRE GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO GENERAL

En el sector que nos incumbe, nos encontramos una costa rectilínea con abruptos y altos acantilados, mayoritariamente erosivos (Rivas, 2000). Los principales factores que controlan la geomorfología de esta costa son las oscilaciones del nivel del mar. (Juan A. Morales, 2019).

EDAD		LITOLOGÍAS	DATOS
TRIÁSICO		Lutitas rojas, yesos y sales.	Materiales asociados a las grandes estructuras diapíricas presentes en zonas costera.
JURÁSICO		Dolomías laminadas, keuper	Dolomías y calizas marinas. Encajado con un vulcanismo basáltico.
CRETÁCICO	INFERIOR	Valangieniense y barremiense	Lutitas y limolitas grises. Se encuentran en el sur del sinclinal de San Román
		Aptiense-albiense	Calizas con requiñidos. Lutitas y limolitas grises. Constituye una serie carbonatada. Constituye numerosas mineralizaciones de plomo y zinc.
	SUPERIOR	Cenomaniense y coniaciense	Calcarenitas margas y calizas margosas -
		Santoniense	Calcarenitas arenosas con algas. Calizas areniscas con micrafter. -
		Campaniense y Maastrichtiense	Calizas arenosas y calcarenitas. -
CENOZOICO		Arcillas y limos masivos, calizas masivas y areniscas. Calizas y calcarenitas.	Destacan en el sinclinal de San Vicente de la Barquera.
CUATERNARIO		Arenas y gravas (playas y dunas)	Existe una red de drenaje muy encajada y hasta 8 plataformas de abrasión.

Cabo Menor y Mayor en Santander, están constituidos por calizas arenosas del Cretácico superior, y si nos desplazamos hacia el oeste, afloran calizas con alveolinas y micrafter del Cenozoico y después vuelven otra vez las calizas arenosas del Cretácico Superior. Esto sucede porque existe un sinclinal cuyo eje se encuentra en la zona de la Virgen del Mar. La zona de La Arnía se caracteriza por una alternancia de margas y calizas que dotan a esta zona del paisaje que posee. Por esa alternancia se pueden observar las distintas líneas de acantilado que se han ido sucediendo a lo largo del tiempo. En las dunas de Liencres los sedimentos más abundantes son las arenas y gravas. La playa de Usgo es destacable porque tiene materiales del Cenozoico y del Jurásico. Del Cenozoico tiene dolomías laminadas y lutitas rojas, yesos y sales. Y del Jurásico tiene calizas margosas tableadas, que están estrictamente en la línea del acantilado. En las zonas que rodean la Ría de Suances, destacan las arcillas del Cuaternario. Y por último en la zona de Suances tiene materiales del Cretácico Superior, destacando las margas, las calcarenitas y calizas arenosas.

3.1 ENCUADRE GEOLÓGICO

Para el encuadre geológico general de la zona de estudio se han utilizado los mapas geológicos, a escala 1:25.000, editados por el Gobierno de Cantabria y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), y en concreto las Hojas 34-I Suances, 34-II de Muriedas y la Hoja 35-I de Santander (Cañas Fernández, 2008; Solé Pont et al., 2008; Larrondo Echevarria et al., 2008).

La zona de estudio se caracteriza por materiales del Cretácico Inferior (Aptiense) y del Cenozoico, por lo tanto, los materiales más antiguos se depositaron aproximadamente hace unos 120 millones de años, en unas condiciones de un ambiente que van cambiando en consecuencia del cambio en el nivel del mar, alternando condiciones transgresivas y regresivas.

Por otro lado, desde el punto de vista estructural, la zona está dominada por el Sinclinal de Santillana-San Román, correspondiente a un gran pliegue que se ha producido durante la última orogenia Alpina, fase tectónica que ha generado los principales relieves que actualmente podemos observar en el noreste de España, como los Pirineos o la Cordillera Cantábrica (Figura 10). Dicho accidente geológico es la razón por la cual, los materiales que se sedimentaron hace aproximadamente 120 millones de años con una disposición horizontal, actualmente se encuentran en posición prácticamente vertical, sobre todo en el tramo entre la playa de Covachos y la Arnía (Figura 11).

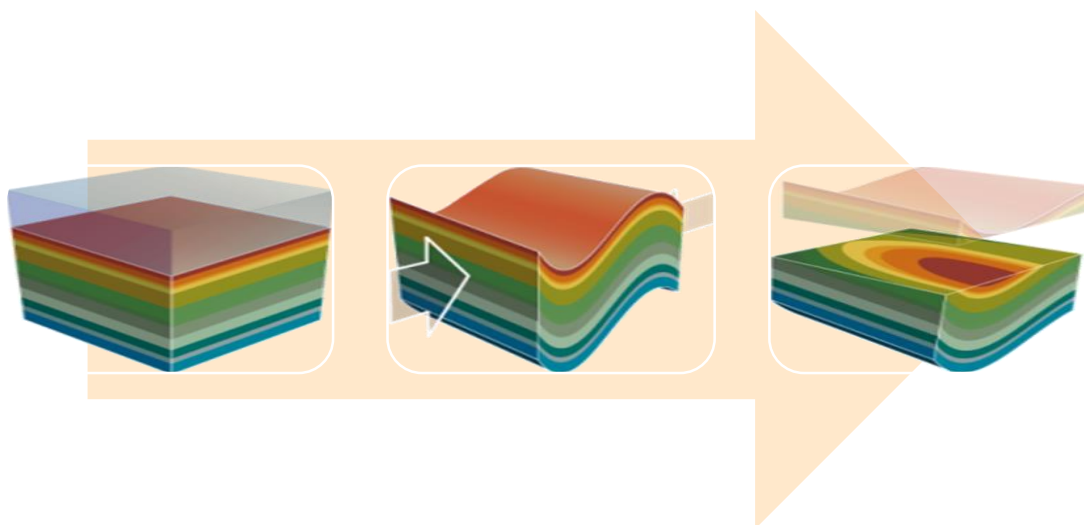


Figura 10: Esquema de formación de un sinclinal. En primer lugar se da lugar a la sedimentación de los sedimentos, posteriormente procede el plegamiento por esfuerzos internos y por último se procede a la erosión, dejando a la vista el sinclinal. (Esquema sacado del folleto de Costa Quebrada, Parque Geológico).

Por otro lado, el Sinclinal de Santillana-San Román es una estructura plegada y simétrica con respecto a un eje central que, en la costa, se ubica aproximadamente en la zona de La Virgen del Mar, con lo cual, todos los materiales afectados por esa fase de plegamiento, reflejan dicha simetría. Esta es la razón por la cual, observamos los mismos materiales tanto en el flanco norte como en el sur del sinclinal.

Más en concreto, si observamos el mapa geológico, se aprecia como los materiales que afloran en la zona de Cabo Mayor y Cabo Menor, son los mismos materiales que afloran en la zona de La Arnía o Covachos. Otro aspecto interesante de esta estructura es la

simetría con respecto a la edad de los materiales que la constituyen, que va aumentando a la vez que nos alejamos desde el eje de simetría, con lo cual, en la zona de La Virgen del Mar afloran los materiales más modernos, y en las zonas más alejadas, tanto hacia el sur como hacia el norte, afloran materiales cada vez más antiguos.

Siguiendo este orden, los materiales más antiguos son los que actualmente afloran en las zonas de la Playa de los Caballos y corresponden a limolitas y areniscas del Cretácico Inferior que se sedimentaron en un ambiente de delta, con grande aportes de sedimento por parte de cursos fluviales. Sucesivamente, durante todo el Cretácico Inferior, debido a una trasgresión marina, las condiciones pasaron a las de un ambiente de un mar no muy profundo y de agua cálida, en el cual se construyó un arrecife, con sedimentación de grandes cantidades de carbonatos. Las rocas correspondientes a ese período son las que actualmente afloran en las zonas de Cuchía, la Playas de los Caballos y, debido al sinclinal, en la península de la Magdalena.

Al final del Cretácico Inferior empieza una fase regresiva, con la formación de un nuevo ambiente de transición, y por lo tanto, de nuevos aportes de sedimento terrígenos, transportados por los ríos, y que sepultan el arrecife. En ese momento se depositan, arcillas, areniscas y limolitas, y corresponden a las rocas que se observan tanto en la zona de Somocueva, de la playa de El Sardinero.

Ya en el Cretácico Superior y hasta prácticamente el Terciario, las condiciones existentes son las de un mar profundo, en el cual se sedimenta una alternancia rocas carbonatas, como las calizas, calcarenitas y margas, que afloran actualmente desde la zona de La Arnía, hasta San Juan de la Canal y, en la vertiente sur, desde el Sardinero, hasta algo más al oeste de Cabo Mayor.

Por último, al final del Cretácico Superior y durante el Terciario (Paleógeno), se originan los materiales más modernos en la zona, y que actualmente se pueden observar alrededor del eje de simetría del sinclinal, en las zonas de la Virgen del Mar, o de la Playa de la Maruca, y que se formaron en un mar poco profundo.

Figura 11: Mapa Geológico Predominan las calizas arenosas en casi toda la línea de acantilado.

Cabo Menor y Cabo Mayor en Santander, esta predominado por calizas arenosas del Cretácico Superior, si sigue el mapa hacia el oeste, le sigue calizas con alveolinas y micraster del Terciario y después vuelven otra vez las calizas arenosas del Cretácico Superior. Esto sucede porque es un sinclinal.

La zona de La Arnía se caracteriza por una alternancia de margas y calizas que dotan a esta zona del paisaje que posee. Por esa alternancia se pueden observar las distintas líneas de acantilado que se han ido sucediendo a lo largo del tiempo.

En las dunas de Liencres reinan las arenas y gravas.

La playa de Usgo es destacable porque tiene materiales del Triásico y del Jurásico. Del Triásico tiene dolomías laminadas y lutitas rojas, yesos y sales. Y del Jurásico tiene calizas margosas tableadas, que están estrictamente en la línea del acantilado.

En las zonas que rodean la Ría de Suances, destacan las arcillas del Cuaternario. Y por último, en la zona de Suances destacan los materiales del Cretácico Superior; margas, calcarenitas y calizas arenosas.

**LEYENDA**

CUATERNARIO

- Arenas, gravas
- Arcillas, limos con cantos y/o bloques de composicion variable
- Arcillas de descalcificacion
- Arcillas, limos, arenas
- Arcillas, limos con abundante materia orgánica
- Arcillas, limos con edafizacion y encostramiento
- Calizas recristalizadas, tableadas

CRETÁCICO SUPERIOR

- Areniscas, limolitas, lutitas carbonosas y piritosas
- Areniscas, lutitas, limolitas
- Lutitas, limolitas grises, ocre y rojas y areniscas, Intercalaciones de calizas
- Margas grises, areniscas
- Margas, calizas margosas
- Margas, calizas margosas con Micraster
- Calcarenitas
- Calcarenitas con intercalaciones de margas, areniscas
- Calizas con requienidos
- Calizas arenosas
- Calizas grises con ostreidos, margas

TERCIARIO

- Calizas con Alveolinas, Nummulites
- Calizas, dolomías micriticas laminadas, Margas dolomíticas
- Arcillas abigarradas, yesos, sales, Facies Keuper
- Calizas con algas
- Areniscas
- Calcarenitas, calcarenitas arenosas laminadas con abundantes algas
- Dolomias, calizas masivas

JURÁSICO

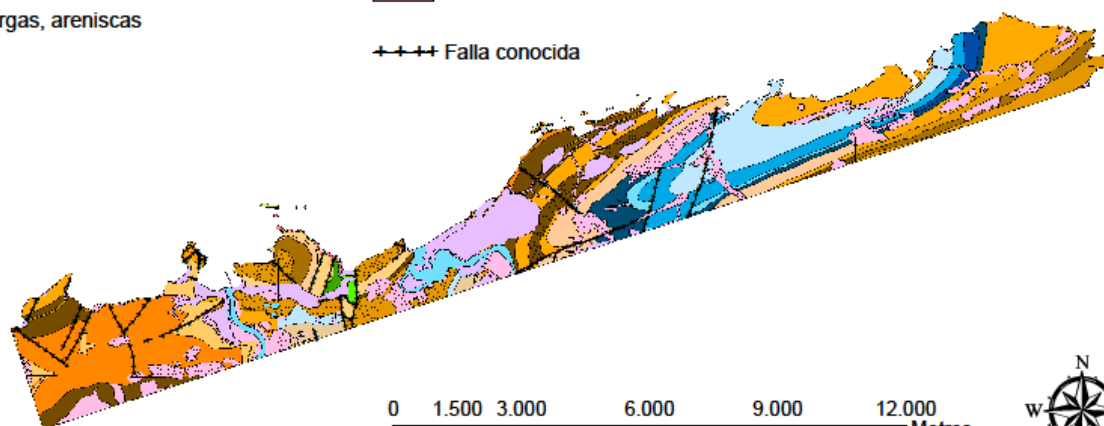
- Calizas margosas tableadas

TRIÁSICO

- Brechas dolomíticas, dolomías laminadas
- Brechas vulcanosedimentarias
- Lutitas rojas, yesos, sales
- Dolomias laminadas, brechas dolomíticas, calizas masivas, en bancos

- Masa de agua
- Rellenos antrópicos

+++++ Falla conocida

0 1.500 3.000 6.000 9.000 12.000
Metros

3.2 ENCUADRE GEOMORFOLÓGICO

Tanto la geomorfología como los procesos activos se analizan mediante los informes realizados por INYPSA dentro de las condiciones establecidas por el Gobierno de Cantabria y el Instituto Minero Geológico y Minero de España (IGME).

El estudio se divide en mapas 1:25000. Cada hoja es una zona de Cantabria. En este caso se analizan las hojas 34-I, 34-II y 35-I que corresponden a Suances, Muriedas y Santander, en ese orden.

GEOMORFOLOGÍA

La costa es una zona de interacción entre procesos terrestres y marinos. Es un ambiente de transición y por tanto, complejo. Además, las zonas costeras son las de mayor actividad humana.

La costa de Cantabria se caracteriza por acantilados altos y de roca dura, como ya se ha explicado en el apartado de geología, y por eso las oscilaciones del nivel del mar combinando con los materiales son los que dan lugar a esta erosión que hoy día observamos. Las rasas que se observan también son uno de los elementos característicos de esta erosión. Estas se pueden definir como plataformas sobre el nivel del mar y cubiertas por una fina capa de depósitos (Gutiérrez et al.), y corresponden a antiguos niveles del mar.

El balance de los sedimentos de la costa depende de las relaciones entre la pendiente de la costa, los sedimentos que ya haya, del entorno y de las dimensiones y ángulo de las olas. El ángulo que forman las olas con la orientación de la costa es fundamental para el transporte de sedimentos. Aunque bien es cierto que la disponibilidad de sedimentos para ser transportados por las olas y mareas son de primer orden en importancia sobre la dinámica de una zona costera (Wright, 1984). La mayoría de los sedimentos provienen de sistemas fluviales que en el caso que se estudia, corresponden a los ríos Pas y Saja-Besaya. (Juan A. Morales, 2019)

Según (Bird, 2000), la geomorfología litoral se preocupa de la evolución de los modelados litorales.

Según Gutiérrez Elorza y considerando que en torno a un 66 % de población mundial vive en la costa (estimación de las Naciones Unidas), las actividades humanas afectan notablemente al litoral.

El litoral por su parte está en constante cambio (erosión, variaciones de nivel del mar, etc.)

Estos cambios se pueden producir en lapsos de tiempo muy variados.

La representación de la evolución del litoral se basa en una de las escalas más famosas, la de Cowell y Thom, 1994). Según estos autores, los modelados de mayor tamaño

requieren de grandes escalas de tiempo para variar, mientras que las formas más pequeñas necesitan menos tiempo para cambiar.

Los principales aspectos geomorfológicos de la zona estudiada se detallan a continuación.

VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR

Es el nivel del mar quien señala la línea de costa. El caso que se trata es una costa rocosa, los indicadores del nivel del mar son las plataformas de abrasión emergidas, acantilados y nichos basales (Masselink y Hughes, 2003).

- Causas de las variaciones del nivel del mar/ cambios eustáticos:
 - Tectonoeutatismo
 - Sedimento- eustático
 - Glacio-eutatismo
 - Otros

OLAS, CORRIENTES Y MAREAS

Los factores que inciden sobre la costa son el viento, las olas, las mareas y las corrientes, que se combinan y actúan en conjunto.

Estas tres grandes fuerzas son las tres principales razones del modelado de la costa.

1. Oleaje.

Son ondulaciones en la superficie del agua producidas por el viento. (González, 1999).

Las olas no transportan material, de este hecho se encarga el viento. Las olas hacen un movimiento circular a la vez que suben y bajan y cuando llegan a la orilla la arena queda depositada ya que la energía de la ola ha disminuido considerablemente. Esta es la razón de la existencia de playas.

El ángulo que forman las olas con la orientación de la costa es fundamental para el transporte de sedimentos. (Juan A. Morales, 2019)

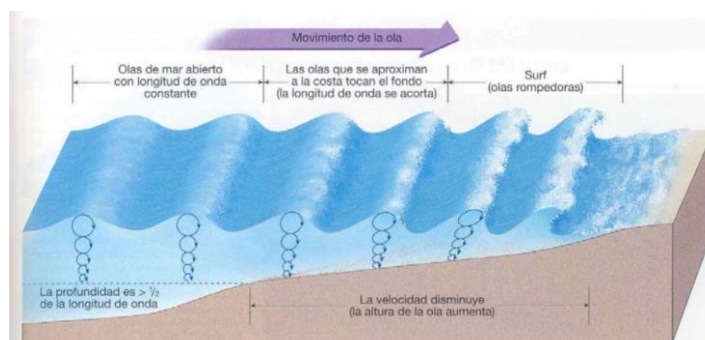


Figura 12: Movimiento de las olas (Tarbuck)

Son las grandes olas las que modifican o “destruyen” el perfil costero, ya que son las que más fuerza llevan y como resultado generan los mayores efectos erosivos,

en el caso de la costa analizada, se habla de olas mayores de 1,5 metros. Es evidente que estos efectos se ven incrementados en el invierno. (Juan A. Morales, 2019)

Las olas tienen un comportamiento cíclico, a nivel de onshore- offshore pero también a nivel estacional. (Juan A. Morales, 2019)

Hay tres procesos erosivos que son producidos gracias al oleaje y que pueden actuar cada uno por separado pero lo normal, es que actúen a la vez. Estos son:

- **Refracción;** Muy típico en Matalaños (Santander).
La ola cuando se encuentra con los cabos se va hacia los laterales y la energía disminuye. Por eso se llega a formar la playa de Matalaños, porque para cuando quiere llegar allá la ola, esta ya no tiene fuerza suficiente para arrastrar con ella el sedimento y erosionarlo.
- **Reflexión** (un ejemplo de ello serían los urros de Liencres o los farallones de caliza cretácica de La Arnía)
El concepto es similar al de la luz, la ola cuando se encuentra un elemento grande contra el cual choca, la ola vuelve hacia atrás reflejada.
- **Difracción**
También un concepto muy parecido al de la luz. La dirección de las olas cambia.

2. Mareas

Son movimientos del agua a causa de la atracción gravitacional de la luna (pleamar y baja mar)

Los valores máximos ocurren cuando la luna, el sol, y la tierra tienen igual orientación. Es importante conocer las mareas porque sobre todo en las bahías y en los entrantes ejercen una gran acción erosiva.

Las mareas son fundamentales si a los procesos costeros nos referimos. Desde una perspectiva dinámica, el desplazamiento vertical cíclico del agua da lugar a la variación del tramo de playa expuesto a la acción de las olas. Las mareas tienen una fuerte importancia en entradas y salidas (bahías, etc.) y es en nuestro caso que estas abundan. Ya que si nos fijamos en el mapa de relieve cántabro, se observan constantes picos (entrada, saliente, etc.) a causa de la erosión. (Juan A. Morales, 2019)

La costa española se divide en dos según su tipo de mareas: mesotidal (costa atlántica) y microtidal (mediterránea). (Juan A. Morales, 2019)

Son muy diferentes entre sí ya que las primeras tienen mareas de rango de unos 2 metros y las segundas constan de un rango mucho menor, de unos 25 centímetros. (Juan A. Morales, 2019)

Las mareas pueden ser vivas o muertas, en el caso de Cantabria son vivas. Y son las mareas las que producen las corrientes. Pueden ser de resaca, más cálidas o más frías.

3. Corrientes oceánicas.

Se producen por la acción del viento sobre la superficie del agua, las diferencias de presión y densidad.

COSTAS ACANTILADAS Y PLATAFORMAS ROCOSAS

Según Emery y Kuhn (1982) una costa acantilada es una ladera abrupta que limita la costa. Son zonas atacadas por el oleaje y por tanto sometidas a erosión mecánica, física y química, bioerosión y movimientos de masas. Esta última produce inestabilidad (caídas de bloques, earthflow, etc.)

KARST (Palabra alemana, de las formas del Carso)

El karst es producto de la disolución de rocas carbonatadas y por lo tanto solubles (como caliza o yeso, en la zona estudiada es la caliza) por las aguas cargadas de dióxido de carbono. Lo esencial es que se consiga crear un sistema de drenaje subterráneo.

Para que se produzca el modelado kárstico ha de ocurrir una reacción química llamada disolución en las rocas calizas. El agua más el dióxido de carbono forman el anhídrido carbónico que es un ácido. Este ácido se pone en contacto con la calcita y genera bicarbonato cálcico que es soluble en agua.

Las formas kársticas principales son: exokársticas (superficiales) y endokársticas (subterráneas. En la zona destacan:

- Cavidades superficiales

 - Karren o lapiaz*

 - Las superficies rocosas constituidas por calizas aflorantes y repletas de pequeños surcos. (Gutiérrez Elorza, 2008)

 - Dolinas*

 - Exokárstica destructiva.

 - Es una expresión superficial de un proceso que se desarrolla en profundidad.

 - Depresiones cerradas de forma circular o elipsoidal en planta, cuyas dimensiones son muy variables. Si están inundadas significa que están compuestas en parte de materiales como la arcilla que es impermeable.

En Cantabria, destaca el parque de naturaleza de Cabarceno como una zona kárstica, donde predominan las formas descritas anteriormente.



Figura 13: Imagen de la caliza en la zona de Cabo Menor. Se observa un *Micraster*, erizo fosilizado, que vivía en los sedimentos que componen actualmente esta caliza


























Figura 14: Mapa geomorfológico. La costa es una zona de interacción entre procesos terrestres y marítimos. Es un ambiente de transición y por tanto, complejo. Además, las zonas costeras son las de mayor actividad humana.

En el mapa de geomorfología destacan los acantilados de más de 25 metros de altura desde la zona media del mapa y hacia la parte oeste del mismo. En esta misma zona y pegado a la línea de acantilado destaca por ser una plataforma de abrasión degradada. Son mencionables las terrazas existentes que coinciden en su mayoría con las playas actuales.

En el tercio de en medio o segundo tercio del mapa es destacable de mención que la mayor parte de la superficie es plataforma de abrasión combinada con algún coluvión grande.

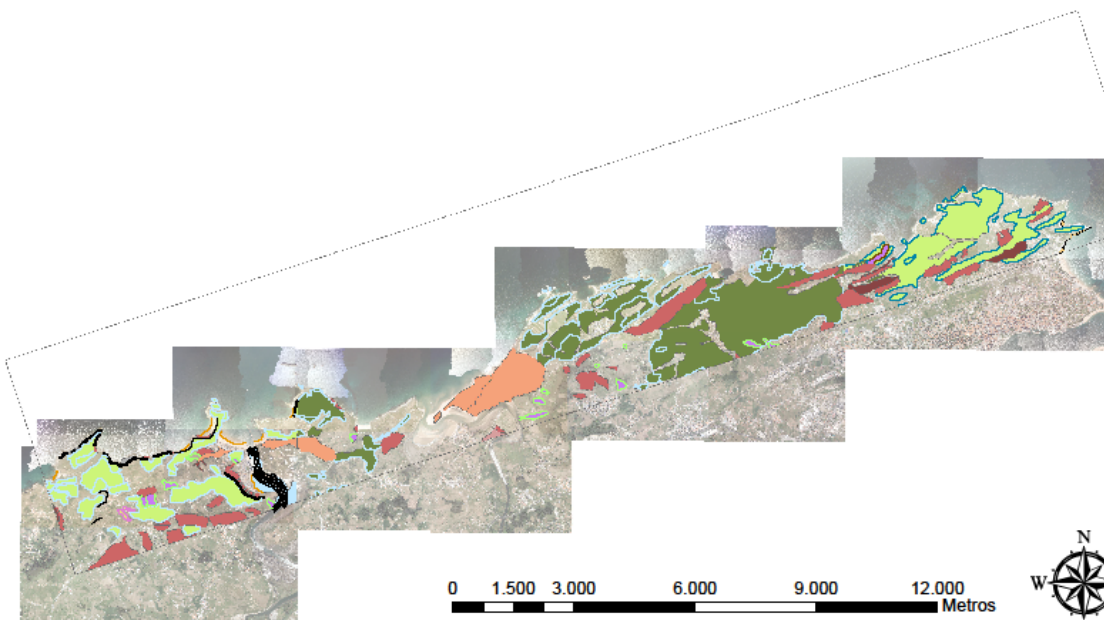
Por último, en el tercer tercio del mapa o el de más al este, destacan ciertos coluviones y sobretodo el acarcavamiento embrionario. También hay algún depósito arroyado (aluvial) en esta zona.

**LEYENDA**

- | | |
|--|---|
|  Coluvión. Centroide |  Acantilado entre 25 y 100 metros |
|  Depósito de arroyada; aluvial-coluvial relleno de vaguada. Centroide |  Acantilado fósil |
|  Plataforma de abrasión degradada. Centroide |  Acantilado inferior a 25 metros |
|  Plataforma de abrasión; rasa. Centroide |  Canal de marea. Límite |
|  Playa de arena. Centroide |  Límite indiferenciado de forma de ladera |
|  Fondo de valle. Centroide |  Terraza. Límite |
|  Acarcavamiento embrionario. Centroide |  Vertiente regularizada. Líneas de pendiente |
|  Barras de arena. Centroide |  Límite indiferenciado de forma del litoral marino |
|  Campo de dunas; cordón de dunas. Centroide |  Límite indiferenciado formas gravitacionales |
|  Marisma baja, slikke. Centroide |  Límite indiferenciado formas litorales |
|  Vertiente con bloques. Centroide | |
|  Terraza. Centroide | |
|  Zona con soliflucción. Sentido N-S. Centroide | |



TANIA RUBIO DE LA FUENTE





PROCESOS ACTIVOS

La forma de un acantilado y por lo tanto de su perfil, se debe a la combinación entre los procesos marinos y terrestres.

PROCESO DE RETROCESO DE UN ACANTILADO

La erosión del acantilado es un proceso dinámico retroalimentado, dicho de otra manera el retroceso de un acantilado es continuo.

La erosión del acantilado consiste en perder parte del terreno que formaba parte de la cresta del acantilado, formándose una nueva línea de acantilado tierra adentro.

La dinámica es simple, se puede dividir en 4 estados:

1) El desprendimiento

De aquel material que ya no es competente para el acantilado, a causa de que el propio peso del material supera las fuerzas de rozamiento que lo sujetan a la demás masa de acantilado y por tanto se cae.

2) El depósito

El material se queda en la base del acantilado y en un principio le protege del proceso erosivo.

3) El transporte

Según sean las mareas y la dirección del acantilado, la mar se llevará antes o después el material.

4) La redistribución

La mar se lleva el material de la base del acantilado y el acantilado queda de nuevo expuesto a la acción del oleaje.

Este ciclo puede presentar diversas velocidades del retroceso en función de diversos condicionantes como son: la zona, el oleaje, el nivel del mar, el tipo de material, etc.

CASO CONCRETO COSTA QUEBRADA.

La evolución del acantilado y de los depósitos del mismo, se puede observar con un ejemplo de Cantabria: Parque Geológico Costa Quebrada. Esta zona ha dejado evidencias del retroceso y evolución del acantilado (Según el estudio de G. Gutiérrez, V. Bruschi y A. Cendrerros, 2017).

1) La glaciación (Figura 15)

Dos largas crestas cruzan el terreno actuando como barreras que los ríos solo pueden atravesar por las fallas.



Figura 15: La glaciación. (Viola Bruschi)



Figura 16: La inundación del mar.

2) La inundación del mar

El nivel del mar aumenta tras finalizar el periodo de la glaciación y se inunda la llanura. El oleaje va destruyendo las rocas más débiles hasta encontrarse con las crestas de caliza. La erosión es mucho más lenta en ellas ya que son muy duras.

3) El dismantelamiento

El oleaje comienza a erosionar las margas que hay entre las crestas y tras de ellas a través de aberturas que se producen. Así se va creando una especie de depresión.



Figura 17: El dismantelamiento



Figura 18: Estado actual



4) Actualmente...

La erosión sigue actuando sobre los Urros (islotes) alineados.



Figura 19: Estado futuro

5) En un futuro

La erosión sigue avanzando....



Figura 20: Localizaciones de los diferentes estados de erosión en Costa Quebrada En esta imagen (basado en el trabajo hecho por Díaz Terán (2016)) se explican los diferentes estados erosivos de Costa Quebrada.

En el nº 1 indico la línea de costa que hubo antaño, en el nº 2 también se indica otra línea de costa que hubo. En el nº 3 sería la siguiente fase erosiva, la creación de un hueco en el suelo, el cual se desmoronara con el tempo (como el proceso que llevo el Puente del Diablo, en Santander). Después iría el nº 4 en el cual el agua comienza a dismantelar el material que producen las caídas de material. El siguiente paso sería el nº 5, muestra como el agua ya ha dismantelado el material y ha creado una ensenada. Por ultimo sería el nº 6, en el cual ya el agua no rellena la ensenada.

ASOCIADOS A DETERMINADAS LITOLOGIAS

Los procesos más comunes son los asociados a la disolución. Los cuales tienen un nivel de atención alto por el alto nivel de ocupación.

MOVIMIENTOS EN MASA, DE LADERA

Los movimientos en masa constituyen el principal proceso activo en este sector de la costa y es la principal causa del retroceso del acantilado y por tanto de la evolución del mismo.

En lo más cercano a la línea de acantilado, destacan:

- Los coluviones tanto de la Virgen del Mar, de la Arnía y el de la punta del Águila, todos afectados por material de una mezcla de derrubios. En su totalidad con un nivel de atención bajo.
- Al suroeste de la playa de Usgo y en la Maruca se observa solifluxión con un nivel de atención alto. Sobretudo afectado por material de tipo suelo.

EROSIÓN

Es uno de los procesos que más atención requiere en este estudio ya que nos centramos en los altos acantilados y en el retroceso de los mismos. En toda la franja y según INYPSA requieren de un nivel de atención notable e incluso alto en el área de Santander.

Destacan las líneas de drenaje que desembocan en Portio porque se entremezclan con un cordón litoral lo cual favorece la erosión de una manera estrepitosa.

Influye la erosión fluvial, litoral y la escorrentía superficial.

La forma de un acantilado depende de variables geológicas, climáticas, oceánicas, profundidad del agua, material base, topografía, altura relativa al mar del acantilado, entre otros muchos.

Como resultado de las acciones combinadas de todos los factores presentados antes (aéreos, marinos y humanos), se forma el perfil del acantilado. También influye el tiempo por el cual operan (Emery y Kuhn, 1982). En resumen, el resultado del perfil del acantilado es la combinación entre los procesos marinos y terrestres.

En nuestro caso tenemos acantilados con llanura asociada, las cuales se han considerado tradicionalmente rasas antiguas. La pendiente de estos acantilados que se les asocia una llanura es muy variable, desde pendientes muy suaves hasta acantilados casi verticales que es en lo que se centra este estudio.

ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA

Destacan:

- El área levantada (en movimiento de gran radio) que se ubica entre la Virgen del Mar y el parque natural de las dunas de Liencres.
- Los valles colgados en toda la banda costera.
- Los conductos kársticos (Puente del Diablo)

ACCIÓN HUMANA

Hace unos 7000 años, el nivel del mar en el norte de España estaba unos 5 metros por debajo del actual (Alonso y Pages, 2010), esto se mantuvo unos 3000 años y luego comenzó a ascender hasta llegar al momento actual. Hay evidencias muy antiguas de ocupación humana en España: en el norte, los celtas (“Castros”). Aunque el real comienzo de la transformación de la costa comienza en la revolución industrial, ya que mucha parte de la población se muda a vivir a la costa.

Muchos de los cambios humanos son:

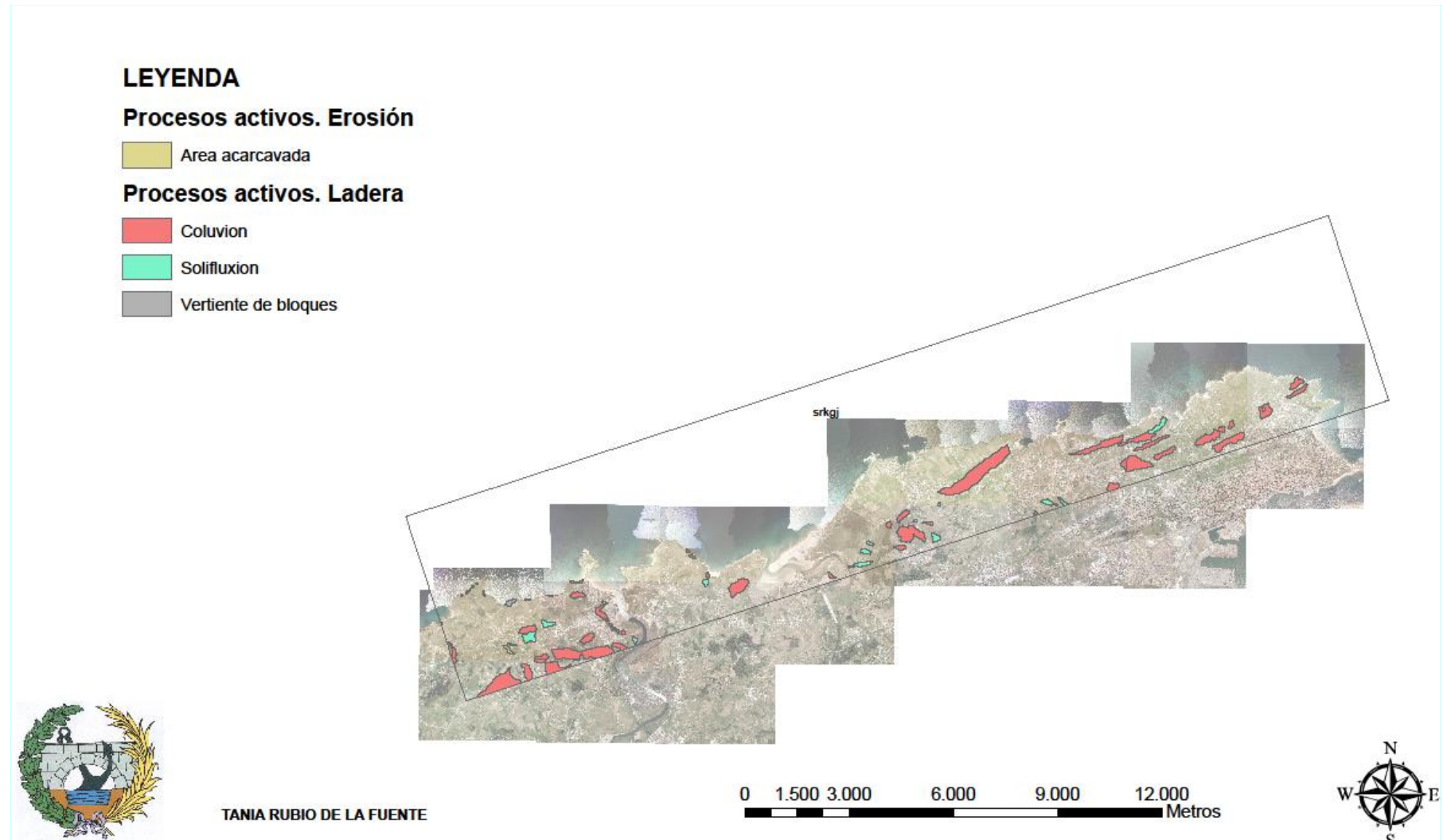
- Las presas son una interrupción del curso natural de los ríos. Éstas cortan el suministro de sedimentos aguas abajo, lo cual es un gran impacto en la costa. En el caso que se estudia destacan la Presa de Santa Lucía (río Saja), la presa de Corrales de Buelna (río Besaya) y la presa de Puente Viesgo (río Pas).
- Actividades agrícolas en marismas.
- Construcciones como diques, embarcaderos, etc.
- Muchas dunas fueron explotadas para la construcción.



Santander es una ciudad con una densidad de población bastante alta y por ello la acción antrópica es mencionable e importante. Destacan: los terrenos ganados al mar y las superficies degradadas por deforestación. Estas dos favorecen el incremento de velocidad del retroceso de la línea costera.

Figura 21: Mapa de procesos activos. En la zona del estudio destacan sobre todo los coluviones como procesos activos en toda el área de estudio. Hay ciertas zonas que están afectadas por la solifluxión. Hay algunos puntos con vertientes de bloques y una zona muy concreta en Tagle con área acarcavada.

En lo que al estudio concierne, que son los acantilados, destaca: La vertiente de bloques en el acantilado al norte de Tagle y los coluviones en la playa de los locos, algunos puntos del acantilado al norte de Tagle, la playa de usgo y el faro de Cabo Mayor.



ZONA 1 CABO MENOR Y CABO MAYOR

Este primer tramo, se encuentra en la ciudad de Santander y, más en detalle, en la zona del Faro de Cabo Mayor.

Esta zona, como se ha descrito anteriormente, se caracteriza por una alternancia de Calizas y Margas del Cenomaniense (Cretácico Superior) intensamente plegadas y fracturadas.



Si se observan las calizas de Cabo Menor, se pueden observar un aspecto enlosado producido por las diaclasas generadas durante la fase de plegamiento de la roca. Es un diaclasado ortogonal, enlosado, tiene dos familias de diaclasas perpendiculares entre ellas, que juntas con la estratificación, forman prismas, susceptibles de deslizamientos. (Figura 22)

Figura 22: Diaclasado de Cabo Menor

En esta zona se puede observar un muy buen ejemplo de costa acantilado caracterizada por una alternancia de cabos y ensenadas, muy frecuente en toda la región. Dicha morfología es el resultado de una erosión diferencial y, por lo tanto, de un control estructural de la evolución de la línea de costa. La presencia de materiales más blandos y más duros, que constituyen el acantilado, se traduce en una diferente respuesta erosiva frente al acción del oleaje y, como resultado, a la formación de cabos, en aquellos tramos constituidos por materiales más resistentes, como por ejemplos las calizas, o entrantes, en correspondencias de los tramos donde afloran materiales más blandos, como por ejemplo las margas.

En el caso concreto de la zona de Cabo Mayor y Cabo Menor, se pueden observar dos salientes y un entrante originado por el efecto erosivo del oleaje, que paulatinamente ha dismantelado el acantilado constituido por materiales más blandos (margas), donde actualmente se puede observar la Playa de Metaleñas.

El proceso de dismantelamiento que domina en este tramo de costa, se debe a la acción erosiva del oleaje al pie del acantilado, y que provoca procesos gravitacionales como caídas o corrimientos de bloques procedentes de las zonas más elevadas del acantilado.

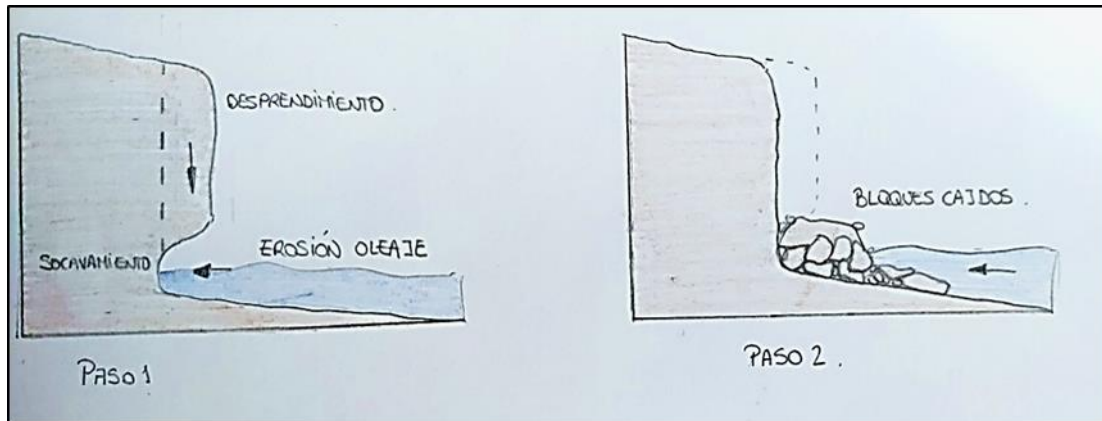


Figura 23: Esquema del proceso de desmantelamiento de acantilado en esta área. Es la evolución típica de una costa acantilada con tránsito de acantilado vivo a acantilado muerto.

Tanto en Cabo Menor como en Cabo Mayor, el oleaje erosiona el pie del acantilado creando un socavamiento de la roca y, sucesivamente, cuando las fuerzas de gravedad son superiores a las del propio peso de la masa ‘colgada’, se produce el desprendimiento.

Los bloques caídos que se acumulan al pie del acantilado actúan como escollera protectora frente a la erosiva hasta que el oleaje remueve los mismos, y vuelve a erosionar el pie dando origen a nuevos desprendimientos. (Figura 23).

La acción continuada del oleaje provoca un paulatino retroceso de la línea de costa más acusado en los materiales más blandos, y menos en aquellos sectores de costa constituidos por materiales más resistentes.

Es importante señalar que en el caso concreto de la playa de Mataleñas, existe un importante control estructural sobre el proceso de erosivo. Si se observan los acantilados que conforman la ensenada de Mataleñas, se puede apreciar cómo sólo en el pie del acantilado hacia el oeste hay acumulación de grandes bloques. La ausencia de bloques acumulados al pie del acantilado hacia el este, se debe a la estratificación de la roca y a la dirección y buzamiento de la misma.

En Figura 24 y en la Figura 25, se presenta un esquema que explica, los diferentes procesos de deslizamientos que se generan en los dos márgenes de la playa de Mataleñas, debidos a la estratificación de las rocas y diferente dirección de acción del oleaje.

RETROCESO DEL ACANTILADO POR "CORRIMIENTO DE BLOQUES"

En el esquema 1 se muestra la disposición de los estratos inclinados hacia el mar, erosionados por el oleaje. En el esquema 2 se muestra como, al perder apoyo en su base por la erosión, parte de los estratos se deslizan sobre la superficie (plano de estratificación) que lo separa del estrato inferior.

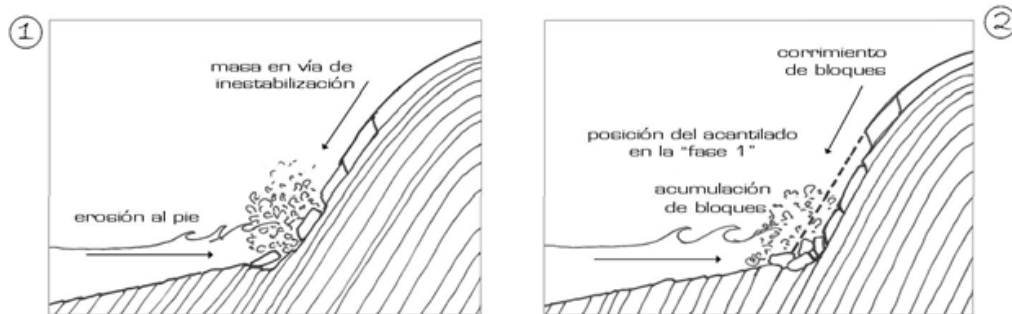


Figura 24: En el caso del acantilado hacia el este, siendo la dirección de buzamiento de los estratos a favor de la pendiente, se producen corrimientos de bloques, con casi la total ausencia de acumulación de los mismos al pie del acantilado. Autora; Viola Bruschi

RETROCESO DEL ACANTILADO POR "CAIDA DE BLOQUES"

En el esquema 1 se aprecia como el acción del oleaje erosiona la parte más baja del acantilado. En el esquema 2 se muestra como el material de la parte alta del acantilado, no teniendo un apoyo se desprende y se acumula el pie del mismo.



Figura 25: En el caso del acantilado hacia el oeste, la dirección de buzamiento de los estratos es contraria a la inclinación del acantilado y, por lo tanto, se producen caídas de bloques.

Una morfología muy interesante que se puede observar en la zona de Cabo Mayor, es la rasa marina, una superficie plana y ligeramente inclinada hacia al mar y que corresponden a un antiguo nivel del mar (Figura 26, Figura 27).

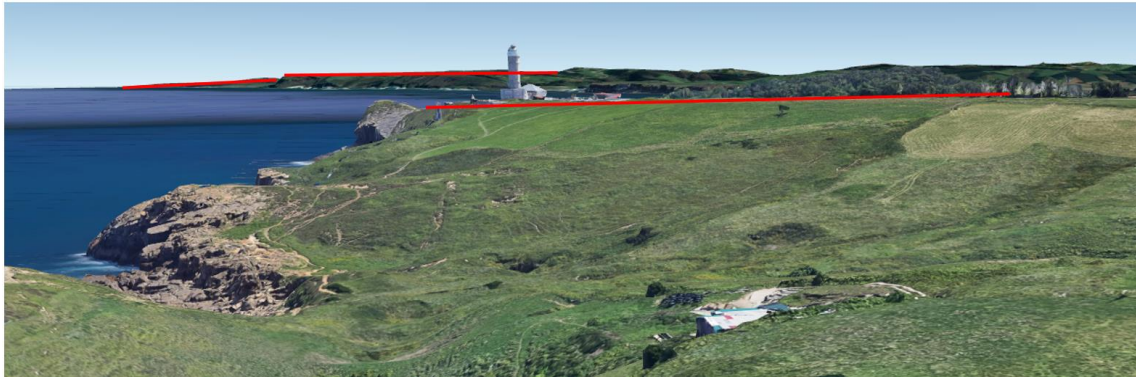


Figura 26: Rasas litorales desde Cabo Mayor

LA RASA

El faro, el restaurante y la zona llana al oeste del mismo (antiguo hipódromo) se ubican sobre una superficie plana, ligeramente inclinada hacia el mar (ver línea roja en la foto). Esta antigua plataforma de abrasión marina, también llamada "rasa litoral", corresponde a un antiguo nivel del mar. Esta superficie se originó por la acción abrasiva del oleaje, en una época (probablemente hace unos cientos de miles de años) en la que la posición del mar con respecto a la costa estaba por encima de la actual. La existencia de estas "rasas" indica que han existido movimientos de ascenso del continente o de descenso del nivel del mar.

En la fotografía adjunta se marcan otros dos "rasas" (Quejo y Ajo).

En Cantabria se han identificado un total de nueve niveles similares a estos, entre 200-220 metros (Sierras Planas de Pechón y Prellezo) y 1,5 metros.

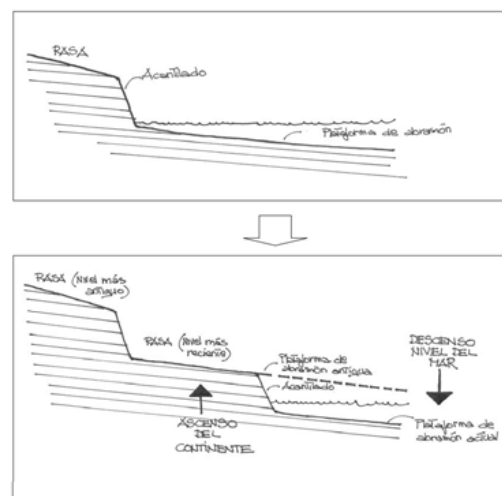


Figura 27: Explicación de la rasa según Viola Bruschi

Entre Cabo Menor y Cabo Mayor se encuentra la playa de Matalaños originada por la sedimentación de arena en una zona en la cual el oleaje sufre una pérdida de energía, por efecto de la refracción producida por los dos cabos. (Figura 28)



Figura 28: Líneas de oleaje. Cabo Mayor y Cabo Menor. (Fotografía de google Earth)

ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA

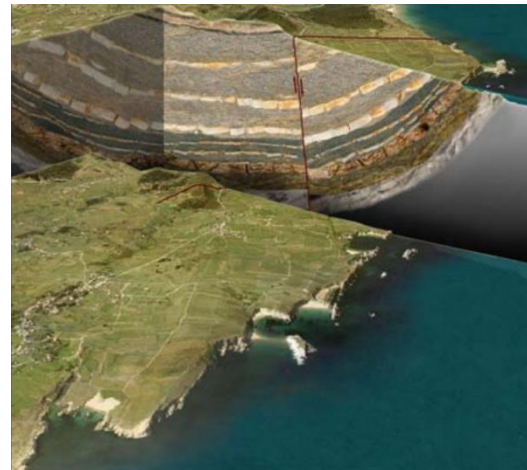
Esta segunda zona se encuentra en la costa del entorno de Santander, más concretamente en el municipio de Piélagos se encuentra La Arnía y en el municipio de Santa Cruz de Bezana está Covachos. Son dos playas colindantes que se ubican en un entorno rocoso con rocas de más de 90 millones de años.

Éstas no son de no muy fácil acceso pero sí son de gran interés por su gran variedad geomorfológica. El conjunto hace unos 1200 metros de longitud. (Figura 29: Sinclinal.)

En esta zona se aprecia la fuerte inclinación de la estratificación generada por el Sinclinal de San Román- Santillana, correspondiente a la mayor estructura tectónica en la zona.

Esta grande estructura abarca desde Santander hasta La Arnía, teniendo su charnela en La Virgen del Mar. La dirección de la charnela es este-oeste. Está integrado por materiales del Cretácico Superior y del Paleógeno.

En el flanco norte del sinclinal los estratos llegan a estar inclinados hasta casi su verticalidad.



El flanco Sur se inclina hacia el Norte con valores de buzamiento de entre 25-30°.

Figura 29: Sinclinal.



Figura 31: Cascada



Figura 30: Tómbolo

En Covachos destaca como la erosión marina ha ido más rápida que la fluvial, esto se identifica por la cascada existente. (Figura 31: Cascada) Esta erosión es muy importante ya que los materiales son muy blandos en su mayoría (margas y calizas margosas).

También es destacable el tómbolo que conecta Covachos con la isla de castro. (Figura 30: Tómbolo)

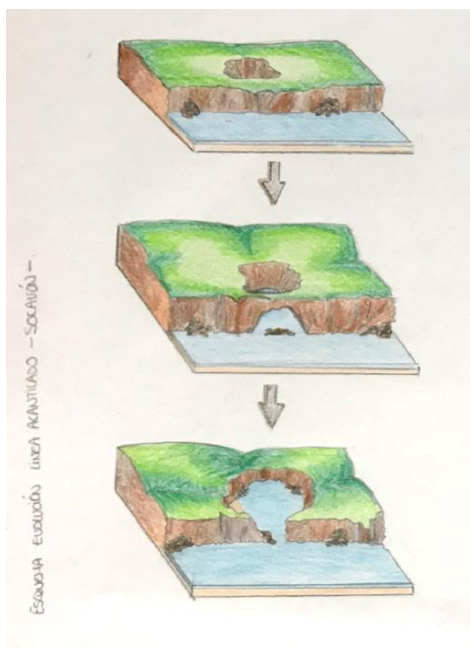
La Arnía destaca por la alternancia de materiales duros y blancos dando lugar así a un paisaje que muestra el retroceso de manera evidente.

Es característica la plataforma de abrasión de La Arnía producida por el oleaje marino y favorecido por el tipo de materiales que nos encontramos.

El socavón de la Arnía es una imponente figura que muestra los primeros pasos que sigue el acantilado de la zona a la hora de retroceder. Se han comenzado a erosionar las margas blandas que había en el interior del socavón y queda alrededor de las mismas la caliza más dura. (Figura 32)



Figura 32: En amarillo se señalan las líneas de acantilado antiguas, distinguidas por restos de farallones que quedan. En círculos rojos y numerados están en orden se muestra el proceso que sucede desde el socavón hasta una ensenada. El 1 sería el socavón como tal, después habría un paso intermedio mostrado en la foto de izquierda, donde el centro del socavón se desplomaría y se formaría una especie de puente natural. Posteriormente, en el número 2 tenemos cuando este puente natural se desploma. Y en los siguientes números, 3 y 4 vemos como ya se va formando la ensenada y en el 4 se llena de agua e incluso puede llegar a hacer una pequeña playa de arena.



La imagen de la izquierda muestra el proceso natural que sufre un socavón tipo en el área de la Arnía. En concreto, si observamos la Arnía desde una escala mayor, observamos que tiene zonas con prácticamente todos los momentos que se suceden al pasar de un socavón a una ensenada. (Figura 33)

Figura 33: proceso de creación del socavón.

ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS

La playa de Caballos se sitúa en el municipio de Miengo. Tiene unos 200 metros de longitud y unos 40 de anchura. (Figura 34)



Figura 34: Playa de Caballos (Google Earth, 2019)

Destaca por estar formado por un material muy blando (limolitas y areniscas) y eso explica la rápida erosión que está sufriendo. (Figura 35)

El proceso erosivo de este tramo se debe a la acción erosiva del oleaje a pie de acantilado y a la naturaleza blanda de los materiales que forman el mismo.

A parte de tener al oleaje erosionando el pie del acantilado, en esta área se filtra el agua de lluvia por la ladera formando tubificaciones, el conocido piping, un fenómeno propio de ladera con terrenos no competentes. Se trata de que el agua discurre por pequeños tubos por dentro de la ladera con mucha energía potencial debido a la gran diferencia de altura. Esto ayuda a la caída del terreno y por tanto a la erosión y desmantelamiento de la línea de costa.

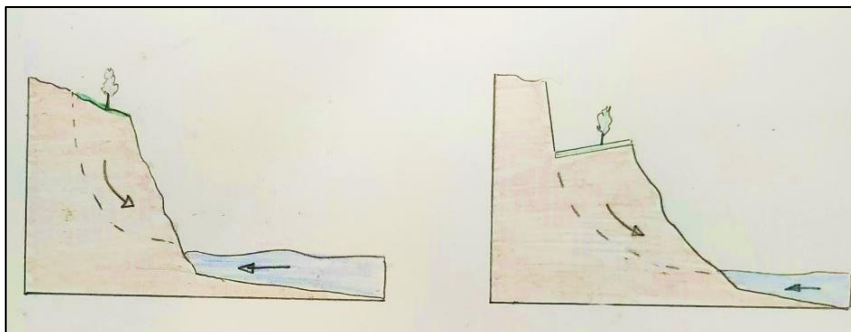


Figura 35: Proceso erosivo de la playa de Caballos.

4 METODOLOGIA DE TRABAJO

El proceso aplicado ha sido la creación de un mapa en el queda representada la posición de la línea de costa para los años: 1946, 1956, 2002, 2007, 2010 y 2014. Los mapas se han obtenido mediante el análisis de ortofotos descargables de la página web del Gobierno de Cantabria (<https://mapas.cantabria.es/>). En algunas ortofotos se han tenido serios problemas con la precisión a causa de la mala resolución de las ortofotos descargas y que son la base de este estudio.

En consecuencia de este anterior problema se fue haciendo trabajo de detalle en los acantilados ya que es el objetivo prioritario del trabajo y en segundo porque normalmente era lo que mejor se distinguía en las ortofotos. De este modo se puede conseguir identificar y estimar el retroceso de la línea de costa a lo largo de estos años y en un posible futuro.

El estudio abarca desde Cabo Menor en Santander hasta la Playa de Caballos en Suances. Un recorrido de unos 25 km por la costa.

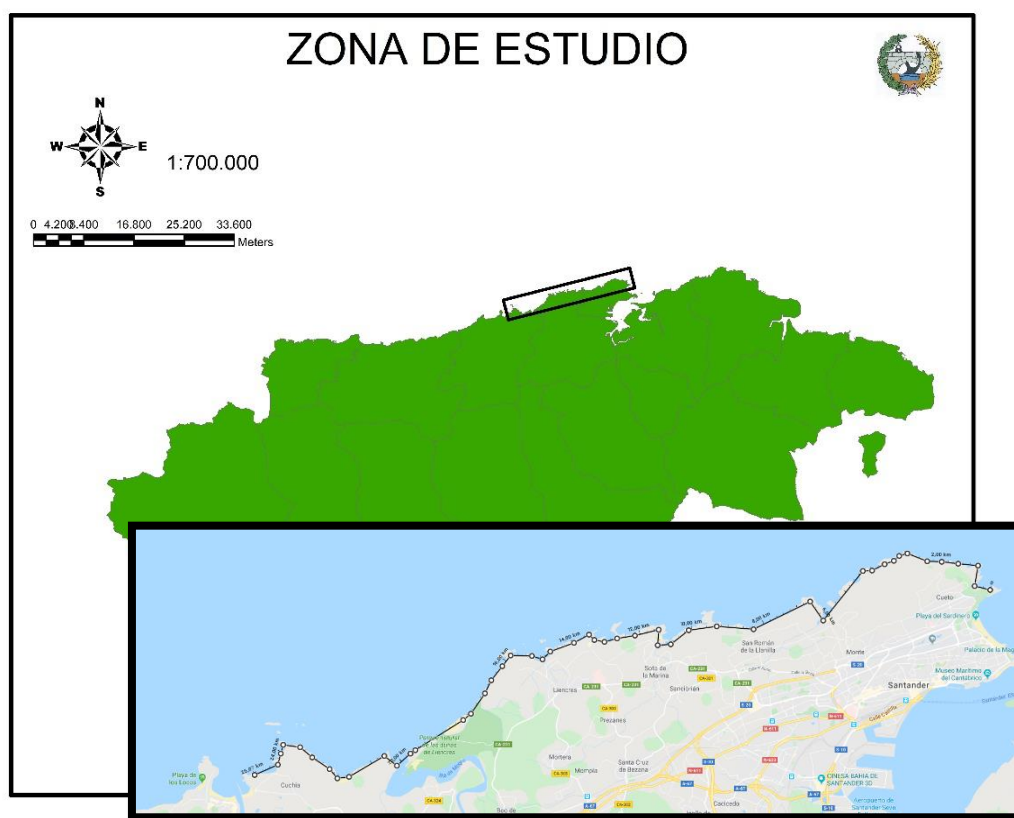


Figura 36: Mapa indicativo del área de estudio. Se indica recuadrado en negro en el mapa creado con Arc Gis y se muestran los kilómetros de la línea de costa sobre una captura de Google Maps.

Estos kilómetros han sido estudiados en trabajo de gabinete mediante el software Arc-Map a escala 1:800. A la vista de los numerosos problemas de cuadro de fotos, poca

visibilidad y de fotos movidas, el estudio se ha centrado en las tres zonas más problemáticas y en las que mejor se distingue el retroceso.

Razones de la elección de las zonas:

- Presencia de acantilados elevados y con pendientes acusadas, donde mejor se puedan ver los procesos de erosión.
- Ha habido un gran condicionante con las ortofotos.

Según CORIMAT (liderado por EUCC-Atlántico), los acantilados se pueden dividir en tres tipos: los vivos (inestables), los estables y los muertos (que evolucionan de forma similar a la vertiente continental).

Los acantilados se diferencian por su forma y su tiempo de evolución, es el caso de los que están constituidos por material calcáreo y a esto se deben las formas kársticas que definen esta zona.

El procedimiento metodológico seguido en el trabajo se resume y sintetiza en el diagrama de flujo que se presenta en la Figura 38



Figura 37: Mapa que muestra las 3 divisiones en el área de estudio, denominadas; zona1, 2 y 3 y correspondientes a cabo Menor y Mayor, La Arnía y Covachos y la playa de Caballos respectivamente. Creado con Arc Gis

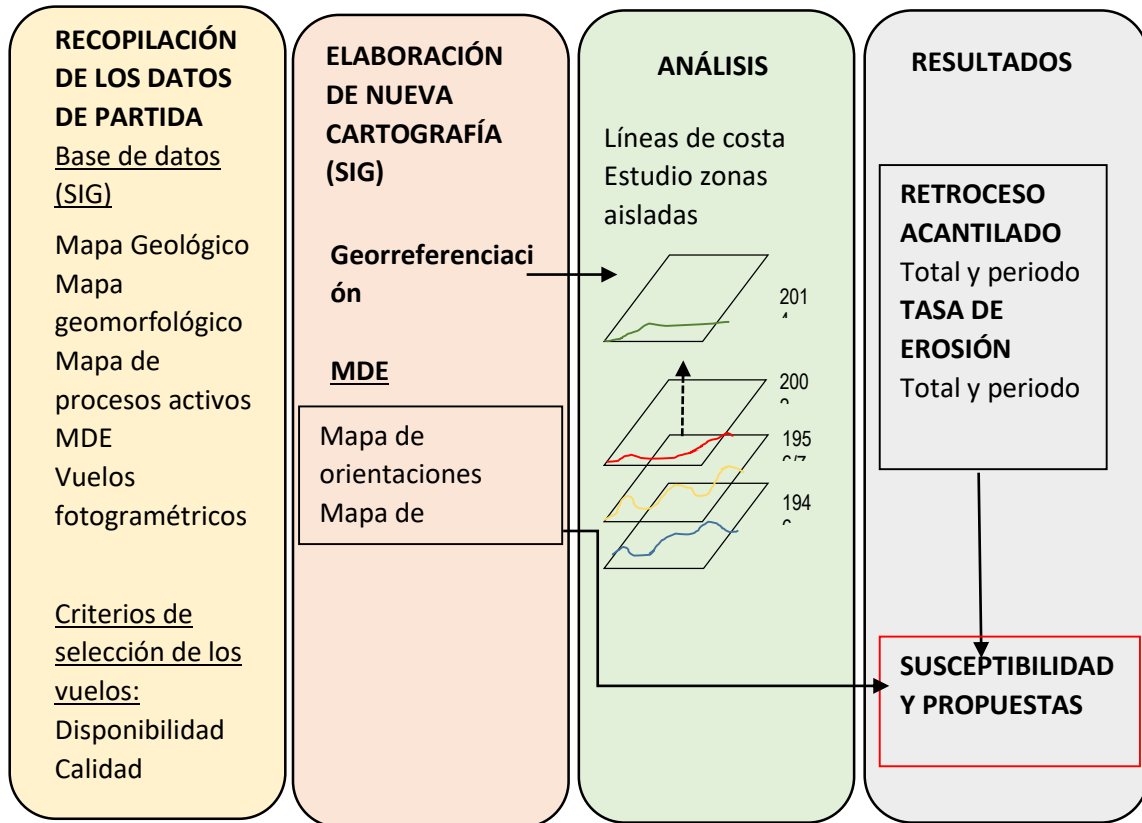


Figura 38: Diagrama de flujo

1) DATOS DE PARTIDA

Con los datos del IGME (Instituto Geológico y Minero de España), se ha estudiado los aspectos geológicos, geomorfológicos y los procesos activos de la zona.

También se han consultado otras fuentes como:

- “Costa Quebrada Parque Geológico”
- “Geomorfología”. (M.Gutiérrez Elorza, 2008)
- Tesis de Viola María Bruschi (V. Bruschi, 2007)

Los criterios que se han seguido para escoger los mejores datos de partida han sido: disponibilidad gratuita, como es IGME o mapas Cantabria y la Calidad de los vuelos y mapas. Algunos años han quedado descartados por tener una visibilidad muy mala.

2) ELABORACION DE UNA NUEVA CARTOGRAFÍA. SIG

Se consiguieron los mapas del Visualizador de Información Geográfica del Gobierno de Cantabria, una plataforma con bases de datos de todo tipo de Cantabria y se descargaron las ortofotos de todos los años disponibles: 1946, 1956, 2001, 2002, 2005, 2007, 2010 y 2014.

De primeras se descartó la ortofoto de 2001 porque existe un año de diferencia con la del 2002 y esta segunda tenía mucha mejor calidad.

Más tarde se descartó la ortofoto de 2005 porque están todas las fotos borrosas y da la sensación de incluso torcidas con respecto a la horizontal. Además abundan las nubes y eso dificulta aún más obtener con precisión la línea de acantilado. Otra de las razones de este descarte fue tener la ortofoto de 2007 y ser esta última muy clara.

Las ortofotos más antiguas han servido como referencia casi en su totalidad, ya que el acantilado se distinguía con dificultad, muchas veces eran las sombras las que servían de referencia. Esto causando posibles errores según el momento del día que fuese hecho el vuelo.

Las ortofotos más fiables son la de 2002 y la de 2010 de acuerdo a su claridad, son poco borrosas o en el caso de que alguna zona lo esté, no es de interés en este estudio.

Las ortofotos se georreferenciaron y se crearon los mapas de orientaciones y de pendientes. Además de crear el geológico, el geomorfológico y el de procesos activos.

3) ANÁLISIS

Una vez obtenidos los mapas nuevos georreferenciados, se pasó al trabajo de campo, se midieron las distancias, se cartografió la línea de acantilado y se han ido creando las líneas de costa de todos los años estudiados, 1946, 1956, 2002, 2007, 2010, 2014 y 2017

4) RESULTADOS

Finalmente se mide el retroceso y se calcula la tasa de retroceso de los acantilados, tanto para los diferentes años seleccionados, como para la totalidad del período analizado (1946-2017).

$$Tasa = \frac{\text{retroceso}(m)}{n^{\circ} \text{ de años}}$$

Por último, y uniendo la información sacada de los resultados y los mapas de pendientes, orientaciones y geológico, se analizan las posibles relaciones existentes entre el proceso de retroceso y los posibles factores desencadenantes de la erosión y, por último se elaboran las propuestas.

4.1. ZONAS ESTUDIADAS

ZONA 1 CABO MENOR Y CABO MAYOR

Este primer tramo, se encuentra en la ciudad de Santander y, más en detalle, en la zona del Faro de Cabo Mayor.

Esta zona, como se ha descrito anteriormente, se caracteriza por una alternancia de Calizas y Margas del Cenomaniense (Cretácico Superior) intensamente plegadas y fracturadas. A lo largo de toda el área se pueden encontrar fósiles de erizos marinos: *Micraster Coranguinum*.

En esta área el análisis ha sido complejo ya que algunos vuelos mostraban alguna cierta inclinación, y por lo tanto no coincidían los puntos. Para hacerlos coincidir se georeferenciación utilizando como referencia el punto más alto del faro de Cabo Mayor, ya que es una estructura mucho más antigua al año 1946/7 y se mantiene en la actualidad.

Hay alguna nube en el año 2010 en esta área y el año 2014 está movido, posiblemente por la inclinación del vuelo. Por último, el año 1946/7 no es muy fiable aunque si se consiguieron datos, ya que las sombras pueden llegar a confundir.

No ha sido una zona muy complicada para registrar los datos, ya que el retroceso de la línea de costa sucede principalmente por caída de bloques.

ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA

COVACHOS

La playa de Covachos es de difícil acceso. Se llega por un camino estrecho que acaba en unas escaleras que van a dar a unas piedras por las cuales y en marea baja se puede llegar a la arena.

Cuando la marea es alta, toda la arena queda cubierta por el agua favoreciendo la acción erosiva del oleaje contra el acantilado. La erosión es muy importante porque los materiales predominantes de la zona son blandos (margas y calizas margosas)

Además de la caída de bloques que evidencia el retroceso de los acantilados, es destacable el tómbolo que conecta Covachos con la isla del Castro. El tómbolo se forma por que las olas que chocan contra la isla del Castro pierden energía y depositan los sedimentos y además las olas que vienen de ambos lados de la isla, chocan y depositan los sedimentos que transporten. Así es como se forma el tómbolo, aunque actualmente solo queda al descubierto en mareas bajas.

En este caso es interesante como la erosión marina ha sido mucho más rápida que la fluvial. Se demuestra con la cascada existente. Si la erosión hubiese sido fluvial, el riachuelo llegaría al nivel del mar paulatinamente. Y no es así, actualmente la cascada “cuelga” del acantilado.

El vuelco de los bloques es claro a la altura de las pequeñas escaleras existentes. Y es a causa de las infiltraciones del agua de lluvia y de la erosión al pie del acantilado. Cuando la masa del acantilado supera las fuerzas de fricción, el bloque vuelca. En un principio “protegiendo” el pie del acantilado, pero rápidamente estos bloques vienen erosionados o movilizados por el oleaje dejando nuevamente al descubierto el acantilado.

LA ARNIA

Gracias a la alternancia de materiales duros y blandos se produce este paisaje en el cual se muestra claramente el retroceso del acantilado.

Es característica la plataforma de abrasión de La Arnía producida por el oleaje marino y favorecido por el tipo de materiales que nos encontramos ahí (alternancia de materiales duros y blandos).

Aún quedan resquicios de los farallones de calizas que antiguamente fueron la antigua línea de, y dentro de la ensenada se observan como los materiales más duros persisten al oleaje dejando unas líneas de caliza (crestas), y los materiales más erosionables o blandos han ido desapareciendo. Y así se forma el paisaje del área. Que se podría decir que forma líneas cuasi perfectas y paralelas. Incluso en la cresta que separa la playa de la plataforma de abrasión se observan los materiales más blandos (arenas) combinados con los más duros. Esta cresta ha sido sometida a menos erosión a causa que el farallón de caliza la protege.

En la Arnía las pruebas del proceso de erosión son:

1. Los escarpes
2. La acumulación de bloques

La depresión de la Arnía es una imponente figura que muestra los primeros pasos que sigue el acantilado de la zona a la hora de retroceder. Se han comenzado a erosionar las margas blandas que había en el interior del socavón y queda alrededor de las mismas la caliza más dura.

ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS (SUANCES)

La playa de Caballos se caracteriza por su difícil acceso ya que está rodeada de altos acantilados. Lo cual la hace ideal para estudiar el retroceso de los mismos debido a los materiales que predominan en la zona (blandos; limolitas y areniscas) y la acción del mar.

En este caso, el retroceso se ve claramente en los años 2002 y 2010 ya que por alguna causa como algún temporal se observan dos grandes desprendimientos consecutivos y claros. Esta área ha sido la que menos problemas ha dado en cuestión de imágenes difusas, nubes, sombras, etc. Es una zona con un material muy blando y por eso los desprendimientos que se han registrado son los más grandes y los más fáciles de ver ya que han quedado claramente los residuos en la base del acantilado.

4.2. TRABAJO DE CAMPO

El día 21 de noviembre se puso en marcha un día de estudio de campo, cuando se visitaron las tres áreas que desde el análisis de los mapas en Gis parecían las más afectadas por procesos erosivos; Cabo Mayor, Cabo Menor, La Arnía, Covachos y la playa de Los Caballos

ZONA 1 CABO MENOR Y CABO MAYOR

En la zona de Cabo Menor, hay claro indicio de erosión, en el muro que rodea el campo de Golf, por el lado norte, hacia la playa de Matalaños. Pruebas de eso, son las continuas reformas que se pueden observar, llevadas a cabo con el fin de restaurar el muro que presenta grietas y caída de bloques, provocados por procesos de erosión. Todo el muro del golf lo renuevan todos los años, en la foto se ve perfectamente los tramos nuevos-tramos viejos y así continuamente. (Figura 39)



Figura 39: Foto de campo del murete del campo de Golf junto a la playa de Matalaños. Se aprecian las grietas producidas por el movimiento de la ladera. (Propia)



Figura 40: Fotografía tomada desde el paseo de Cabo Menor con dirección a Cabo Mayor. Se observan zonas amarillentas, las que posiblemente son las que han sufrido los temporales más recientes. (Propia)

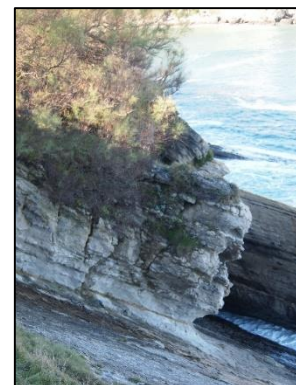


Figura 41. Zoom de la fotografía 11. Se observa un pequeño deslizamiento en forma de U invertida.

En la Figura 40 se observan zonas amarillas posiblemente del temporal de noviembre de 2019 u otros de estos años recientes. Estas áreas amarillas representan cicatrices que pueden indicar que en la zona se han producido caída de bloques o que ha habido posibles deslizamientos.

Y en la Figura 41 se ven también pequeños deslizamientos de la corona vegetal.

En la figura de la derecha, se aprecia un bloque bastante inestable que es previsible que se caiga por las raíces, por la acción del mar y por el tipo de material blando y muy meteorizado, muy fracturado, además la estratificación está a favor del deslizamiento. En la parte inferior del bloque y en contacto con el terreno se observa cómo se crea una forma similar a una U; esto es a causa del oleaje y favorece que se caiga el bloque. En la base del bloque se aprecia una coloración de la roca (amarillo) que podría significar la alteración de la marga (roca gris) por el agua que se está introduciendo.



Todo el paseo se ve basculado al completo porque el terreno está empujando hacia la mar. Y las placas de hormigón se ven rotas al igual que el muro. Esto se debe a que el terreno hace presión contra la línea de costa creando una especie de rampa antes de la caída de los bloques.

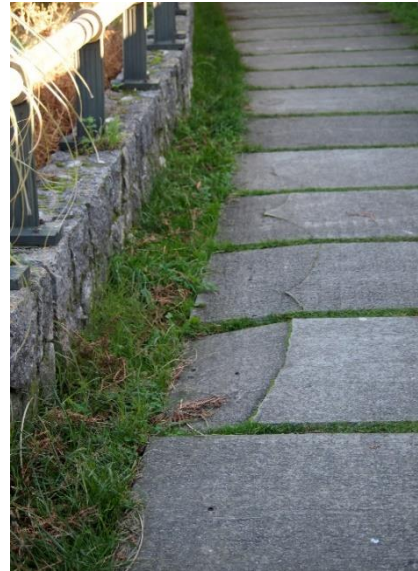


Figura 42: Foto de las baldosas del paseo de la Playa de Mataleñas. Se aprecian las grietas rotas y basculadas a causa de la presión que ejerce el terreno. (Propia)

Diaclasas de Cabo Menor

Es un diaclasado ortogonal, enlosado, tiene dos familias de diaclasas perpendiculares entre ellas. Con la estratificación hace un juego de 3 y crea prismas. ()

Figura 43)

Figura 43: Diaclasas en Cabo Menor

La zona afectada por el deslizamiento tiene una profundidad aproximada de 1.80 m del bloque caído y se ven 6 o 7 bloques paralelos que han caído. Se nota por el color de la roca amarilla; la alteración. (Figura 44)

Y porque están los bloques en la base del acantilado. Se caen en forma cubica a causa de la estratificación y las dos familias de diaclasas.



Siguiendo el paseo, nos encontramos una grieta de unos ocho metros de largo y un poco más adelante un hueco en el terreno fruto de la caída de un bloque.



Figura 44: Fotografía de la grieta y el hueco del bloque caído en noviembre de 2019. (Propia)

Figura 45: Fotografía desde un punto de vista inferior de los bloques en escalera. En la parte superior, la profesora Bruschi y Tania junto a la grieta. (Propia)



Figura 46: Foto de los bloques en el pie del acantilado. (Propia)

En la Figura 45 también se consigue apreciar el tamaño de la grieta.

En la Figura 46 se llegan a ver los bloques caídos al fondo.

PASEO ENTRE EL FARO DE CABO MAYOR Y LA PLAYA DE MATALEÑAS.

Se ha visto que el acantilado está a unos dos metros del paseo, pero la maleza engaña al ojo haciendo ver unos 3 metros de verde más. En la Figura 47 se ve perfectamente, ya que se ha desprendido un fragmento de terreno con la maleza correspondiente.



Figura 47: Fotografía en las cercanías de Cabo Mayor. Se muestra como la maleza engaña a la vista haciendo parecer que hay más acantilado del que realmente hay y esto se demuestra cuando el terreno queda al descubierto. En este caso la línea de acantilado se encuentra muy cercana al paseo. (Propia)

El día de trabajo de campo nos encontramos con unos operarios colocando redes de contención en la Playa Mataleñas. (Figura 48)

A causa de los deslizamientos y caída de bloques desencadenados por los intensos temporales del invierno pasado.

En el saliente de Cabo Mayor se observan numerosos escarpes de gran tamaño que indican grietas en el camino que en un futuro podrían favorecer procesos de deslizamiento del terreno.



Figura 48: Fotografía de la colocación de las redes de contención en Mataleñas. (Propia)



Figura 49: Fotografía de las grietas en Cabo Mayor. (Propia)

CABO MAYOR. FARO

Se han visto las cicatrices que se observan en las series de ortofotos del 2010. Son dos cicatrices importantes en el terreno. Los hemos visto desde una perspectiva en la cual se ve perfectamente el monumento a los caídos.



Figura 50: Foto de campo en las cercanías del faro de Cabo Mayor. Se observa un hueco grande en la pared de la línea del acantilado. Más tarde (en las figuras

Girándonos 180° se ha observado un bloque de grandes dimensiones caído.

Estudiando la zona más detenidamente, se ha observado una acumulación de bloques al pie del acantilado, que aparece claramente en la foto del año 2014 y no se observa en la foto del año 2010.



Figura 51: Foto de campo en las cercanías del Faro de Cabo Mayor. Se muestran los mordiscos del terreno debidos a caídas de bloques.



Figura 52: bloque caído 2014



Figura 53: En 2010 aún no se ha caído el bloque.

Lo cual indica que ese bloque de grandes dimensiones cayó entre 2010 y 2014.

Mirando justo a nuestros pies nos hemos encontrado con un conducto kárstico. Esta zona está constituida predominantemente por caliza y por lo tanto está afectada por procesos kársticos que, entre otras morfologías, generan cavidades.

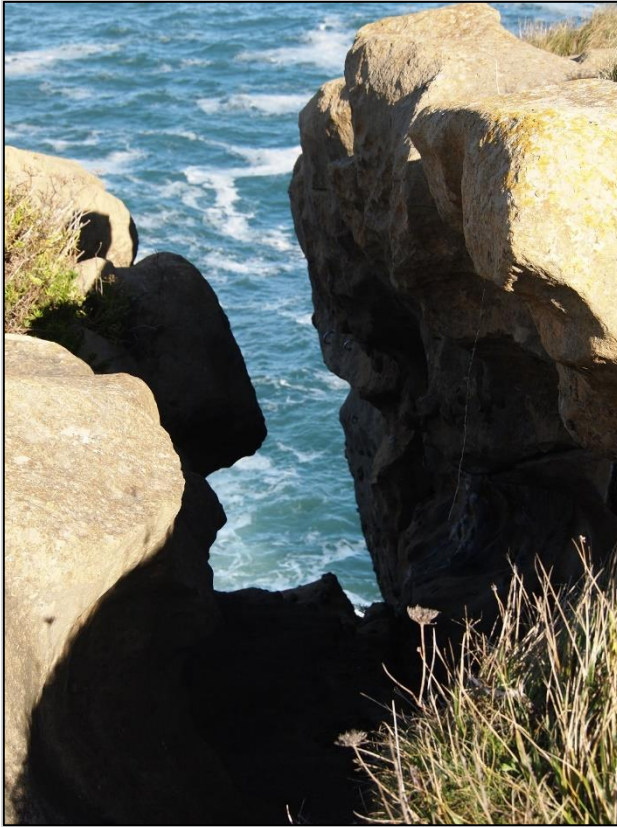


Figura 54: Fotografía de un conducto kárstico en las cercanías del faro de Cabo Mayor.

Los conductos kársticos son muy típicos de esta zona predominante de materiales calizos. Hay algunos que están completos, otros que ya les falta la parte superior como el de la Figura 54 e incluso otros derruidos como es el caso del puente del diablo. Este último se terminó de caer en 2014.

Los conductos kársticos están asociados a las dolinas, por lo cual, la norma general es que la presencia de dolinas signifique debilidad del terreno, ya que posiblemente el terreno que hay debajo sea o poco competente o exista karst. (Figura 55)



Figura 55: Dolinas en Cabo Mayor. (Propia)

ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA

La Arnía es un claro ejemplo del proceso que causa el agua cuando hay marga (gris) y caliza (amarilla).

Figura 56: Fotografía de la ensenada de La Arnía. Se observan las calizas.



Anteriormente el espacio que hoy día está abierto, estaba cerrado, pero en el interior estaba atestado de marga, la cual es un material muy poco competente. El oleaje ha ido poco a poco desmantelando este material y la caliza que es un material mucho más duro ha permanecido en el tiempo. Las crestas es la caliza que permanece aún. Llego un momento que estaba el interior “vacío”, quedaban las crestas de caliza pero la marga había erosionado y entonces se formó una especie de “piscina cerrada”. Hasta que el acantilado que quedaba se ha ido desmoronando. Hoy día cuando hay marea baja se consigue ver la línea anterior de acantilado.

Este proceso se acelera con el aumento del nivel del mar, y este último está claramente influenciado por la actividad humana. Se ve influenciado por el nivel del mar porque a mayor de mismo, más fácil tiene el oleaje la tarea de tirar y socavar la zona.

Se ve perfectamente que el proceso está acelerado porque hace unos 20 años se podía pasar entre las casas y el acantilado y actualmente hay que ir por detrás de las casas, ya que a causa del retroceso del acantilado, y el paseo ha sido totalmente erosionado, así como parte del jardín de las casas.

Hace 40 mil años el acantilado estaba a 100 m.



Figura 57: Fotografía donde se observan las líneas de acantilado antiguas en amarillo y en rojo los distintos estados por los que pasa el terreno para pasar de ser un socavón hasta una gran ensenada con playa.

ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS (MIENGO)

En la zona de la Playa de Caballos, se identificaron grietas asociadas a la activación de deslizamientos. Se pensó la posibilidad de clavar dos clavos largos y medir a precisión de micras, lo cual llevaría tiempo pero el problema real que se vio a esto es que los transeúntes de la zona, lo verían y posiblemente lo moverían/ quitarían.



En la Figura 58 se observa el perfil erosionado fruto de los deslizamientos.

Figura 58: Fotografía de la línea de acantilado de la Playa de caballos. (Propia)

Y en la Figura 59 se observa una rotura del terreno de cerca. También se ve la grieta en el contorno de la rotura.



Figura 59: Fotografía de indicios de roturas y grietas en la Playa



Figura 60: Fotografía de las vallas tumbadas a causa de que el terreno está saturado de agua y tiende a deslizarse hacia la menor altura; el acantilado.

Se observaron las múltiples tubificaciones que hay en la zona.

Una tubificación es la formación de “tubos” por erosión subterránea. El agua en el suelo acarrea las partículas de suelo fino lejos, y el desarrollo de una serie de tubos erodados o dicho de otra manera túneles internos.



En este caso el agua tiene mucha energía potencial por la gran diferencia de altura ya que hablamos de un acantilado de unos metros de altura. Este es un proceso típico de ladera con material no competente. En este caso, al haber ido días después de las lluvias intensas de noviembre, se observa el agua que discurre superficialmente, debido a que el suelo está saturado. Se estuvieron viendo los grandes derrumbamientos que han arrasado con hierba incluida, ya que esta se ve perfectamente en la base del acantilado. Ha rotado.

Figura 61: Numerosas dolinas en la Playa de Caballos. Acompaña a lo comentado en este trabajo, la playa de Caballos tiene un terreno poco competente y por esos tiende a colapsar y a formar deslizamientos.



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se presentan a continuación de forma esquemática a través de tablas, gráficos y mapas detallados para cada área de estudio.

Como se ha comentado en la metodología, el análisis del retroceso del acantilado, se ha llevado a cabo en un entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), y en concreto de ArcGis.

Para una mejor visualización de los resultados obtenidos, se muestran para cada área, las zonas exactas donde se han medido los retrocesos, así como se describen, para cada una de ellas las problemáticas encontradas a la hora de estimar dicho retroceso. (Desde la Figura 62 hasta la Figura 79)

Por otro lado, para una mejor visualización y un análisis de los resultados en su conjunto, se presentan los mismos a través de tres tablas (Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4) y un gráfico (Figura 82).

ZONA 1 CABO MAYOR

En este primer caso, se ubica el estudio en el Faro de Cabo Mayor, en Santander, caracterizada por materiales intensamente fracturados y diaclasados y, por lo tanto, donde dominan procesos gravitacionales, como la caída de bloques (Figura 62).



Figura 62: Ejemplo de proceso gravitacional por caída de bloques presente en la zona de Cabo Mayor. Se observa la presencia de bloques caídos comparando la imagen de la izquierda del año 2010, y de la derecha correspondiente al año 2014.

Para una mejor descripción del procedimiento de análisis, se ha subdividido la zona en tres sectores denominados Faro 1, 2 y 3

En la Figura 63, se muestran los tres sectores seleccionados para la zona de Cabo Mayor. Como se puede apreciar, se representan las líneas de costa cartografiadas, utilizando las imágenes aéreas correspondientes a los diferentes años analizados.

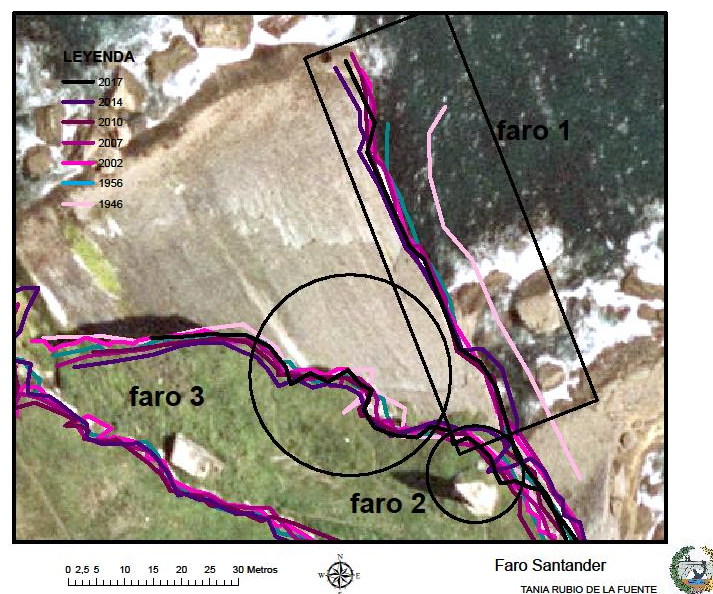


Figura 63: Imagen aérea de la Zona de Cabo Mayor. Se indican los tres sectores seleccionados (Faro 1, 2 y 3), así como las líneas de acantilados cartografiadas sobre la base de las imágenes aéreas correspondientes a los años 1946, 1956, 2002, 2007, 2010, 2014 y 2017

En Figura 64 se muestran las ubicaciones exactas en las cuales se tomaron las medidas de retroceso utilizando ArcGis. Para los sectores Faro 1 y Faro 2 fue posible tomar una sola medida, mientras que para el sector Faro 3, debido a un mayor grado de incertidumbre, se cogieron dos medidas, utilizando sucesivamente la media entre el valor máximo y el mínimo.

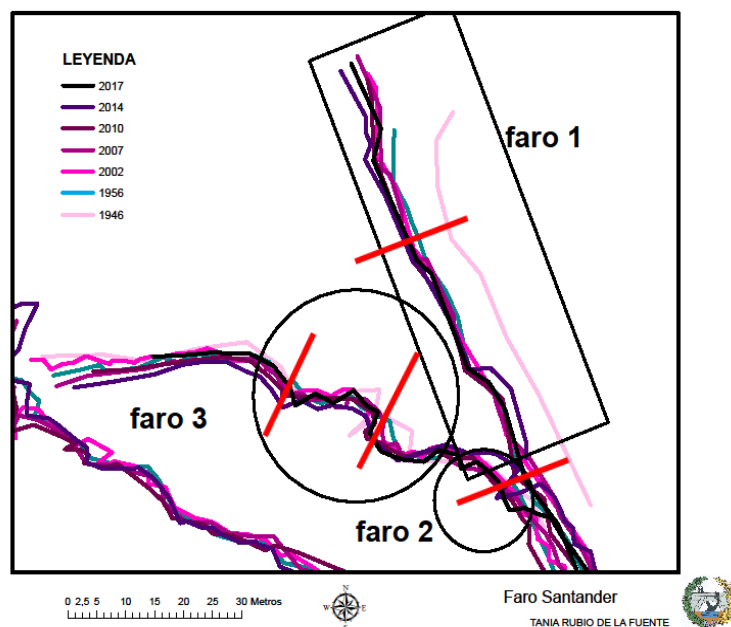


Figura 64: Imagen del entorno de Cabo Mayor. Se muestran los tres sectores elegidos donde se han tomado las medidas en ArcGis (líneas rojas)

En el caso del sector Faro 1, se destaca que el año 1946 no es fiable ya que las características del vuelo han generado sombras que falsean la línea de acantilado (Figura 65).

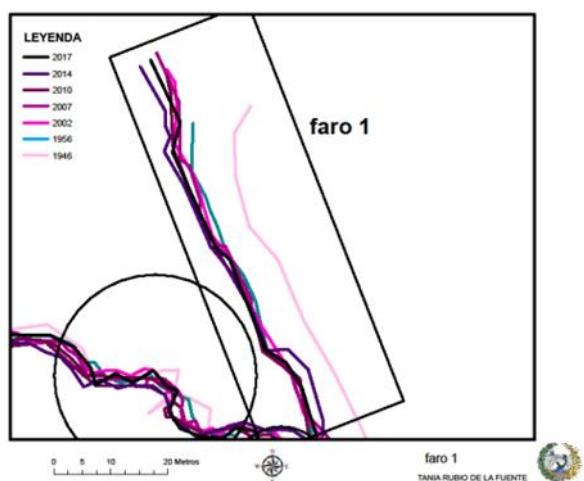


Figura 65: Se muestran los detalles de la zona de medida, y se aprecia la línea de costa correspondiente al año 1946, no considerada en el análisis.

Del 1946 al 2002 el retroceso ha sido de 1,30 m, lo que corresponde a una tasa de 0,03 m/año; mientras que, para el segundo período, entre 2002 al 2017, el retroceso ha sido de 1,20 m, correspondiente a una tasa de 0,21 m/año.

En relación a los sectores Faro 2 y 3, cabe señalar que probablemente el proceso de desmantelamiento del acantilado resulta algo diferente con respecto al sector faro 1, evidenciado por una línea de acantilado muy irregular y caracterizada por grandes cambios entre los años, correspondientes a la caída de grandes bloques observados durante el trabajo de campo (Figura 66).

También en este caso, como en el anterior, no se ha considerado el año 2002, por la presencia de sombras que no permitieron una correcta identificación de la línea de acantilado.

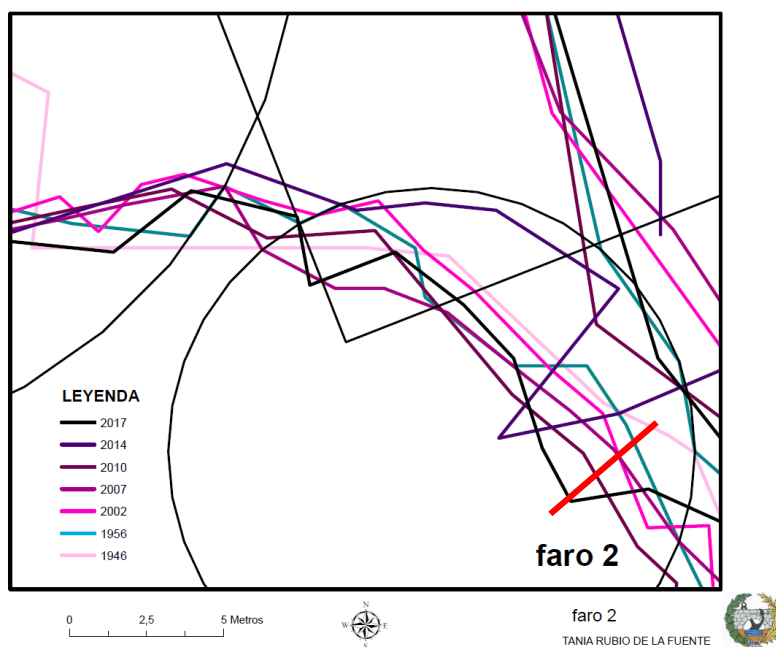


Figura 66: Mapa de la evolución de la línea de costa del sector Faro 2. Se aprecian las diferentes líneas de costa, así como su irregularidad correspondiente a la caída de grandes bloques.

Las medidas de retroceso, para el sector Faro 2 son las siguientes:

- De 1946 hasta 2002 se obtiene un retroceso total de 0,82 m, y una tasa de retroceso de 0,02 m/año.
- De 2002 hasta 2017 se obtiene un retroceso total de 2,34 m, y una tasa de retroceso de 0,16 m/año

Para el Sector Faro 3 (Figura 67), como se ha comentado anteriormente, se han registrado dos medidas de retroceso, una máxima y una mínima, y para el análisis se ha utilizado la media de estos valores.

También en este caso, como en el anterior, la morfología de la línea de acantilado, irregular y con grandes cambios, refleja un proceso de erosión propio de la caída de bloques (Figura 67).

Para este sector las medidas de retroceso total y tasa de retroceso, son las siguientes:

- De 1946 hasta 2002 se obtiene un retroceso total de 2,61, y una tasa de retroceso de 0,05 m/año.
- De 2002 hasta 2017 se obtiene un retroceso total de 2,89 m, y una tasa de retroceso de 0,19 m/año.

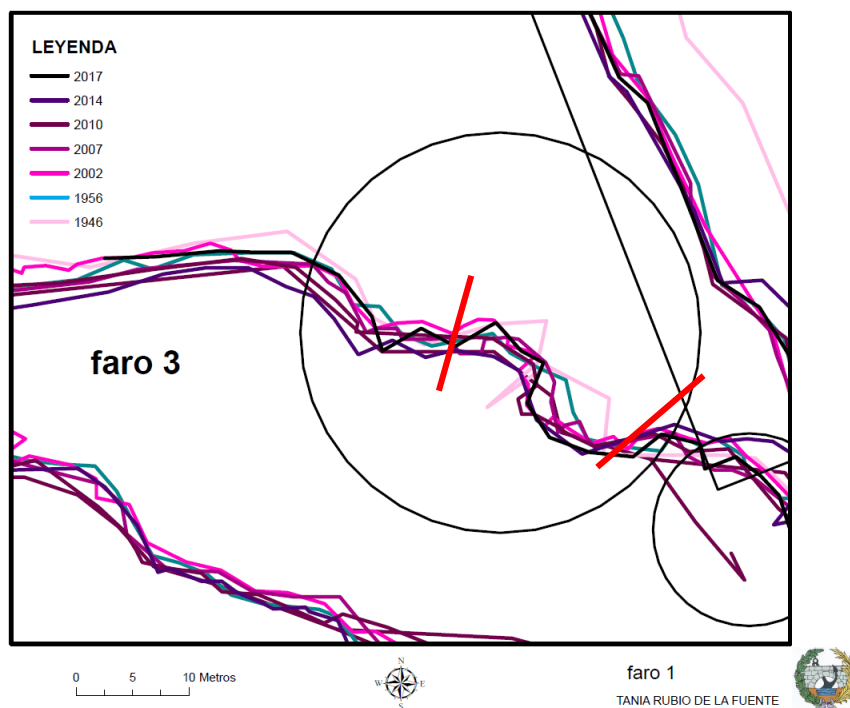


Figura 67: Mapa de las líneas de acantilado para el sector Faro3, con ubicación exacta de donde se han tomado las medidas.

ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA

Esta segunda zona, entre la Playa de La Arnía y la de Covachos, se caracteriza por una alternancia de estratos más duros y más blandos, razón por la cual, se conserva todavía parte de la antigua línea de costa, constituida por calizas del Cenomaniense y Aptiense, más resistentes a la erosión.

En este caso, el trabajo de campo ha sido sencillo ya que es muy evidente el retroceso de esta zona, evidenciados por la acumulación de grandes bloques al pie del acantilado.

Por otro lado, los senderos que discurren en el límite del acantilado, y que hace unos pocos años eran transitables, actualmente se encuentran impracticables debido a la erosión.

Para un mejor análisis, se ha dividido la zona en tres sectores llamados; Arnía 1, 2 y 3. En la Figura 68 se muestran los tres sectores seleccionados para esta zona y las líneas de acantilado cartografiadas de los años analizados.

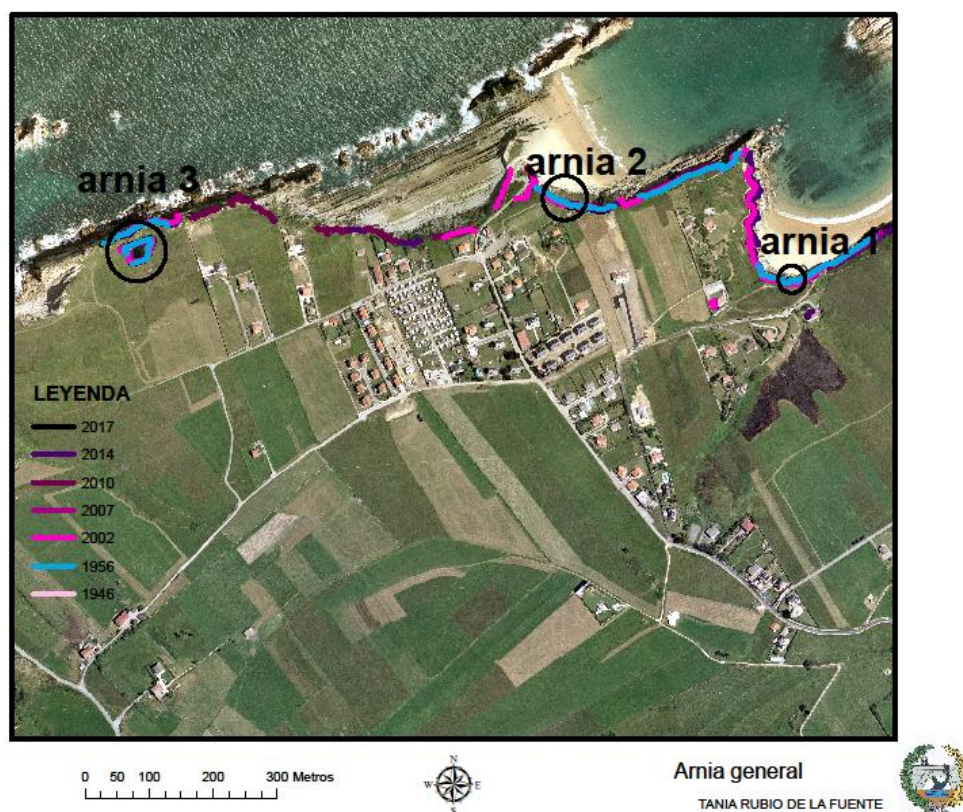


Figura 68: Imagen aérea del entorno a la Arnía y a Covachos. Se muestran los tres sectores (Arnía 1, 2 y 3), así como las líneas de acantilado cartografiadas sobre la base de las imágenes aéreas correspondientes a los años 1946/7, 1956, 2002, 2007, 2010, 2014 y 2017.

Como se ha comentado, en esta área en general, ha sido muy complicado medir los desplazamientos de la línea de costa, en cambio, gracias al muy buen grado de observación y la accesibilidad, el trabajo de campo ha resultado bastante simple.

En la primera subdivisión de la segunda zona estudiada; La Arnía y Covachos; se pudieron tomar dos medidas, una máxima y otra mínima, y así poder hacer la media y disminuir el grado de incertidumbre. (Figura 69)

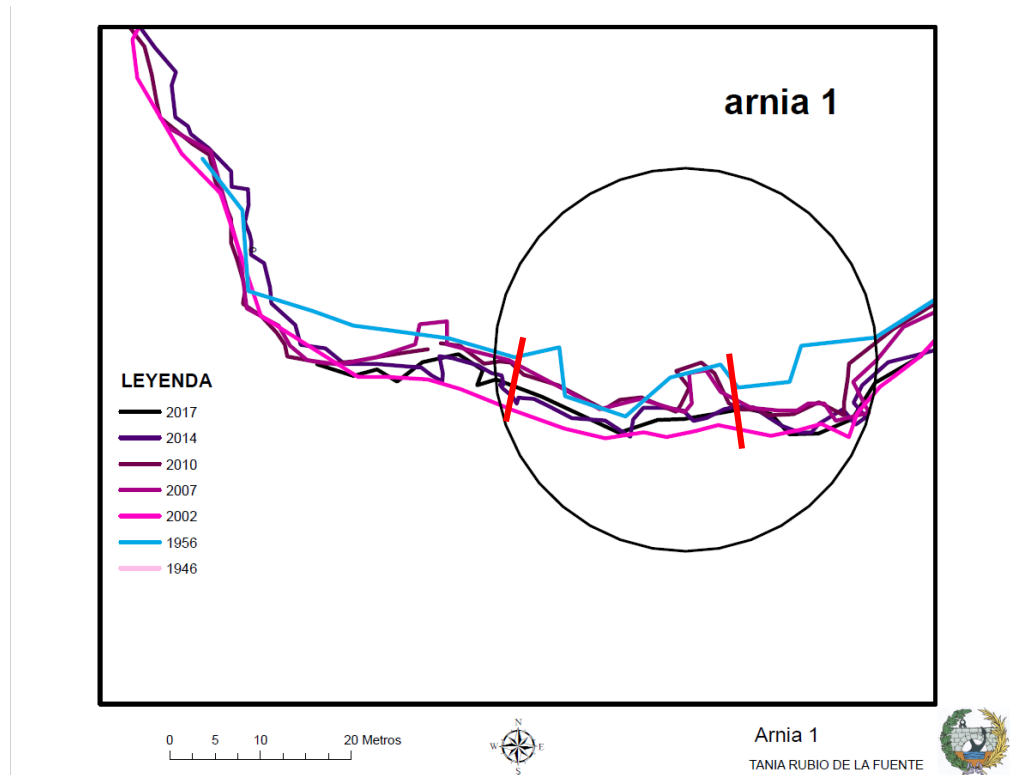


Figura 69: Se muestran los detalles de la zona medida en el sector Arnía 1. En líneas rojas se indica donde se tomaron las medidas máximas y mínimas.

En esta área las tasas de retroceso registradas con el arcgis son las siguientes:

- De 1946 hasta 2002 se obtiene un retroceso total de 1,59 m, y una tasa de retroceso de 0,03 m/año.
- De 2002 hasta 2017 se obtiene un retroceso total de 1,97 m, y una tasa de retroceso de 0,13 m/año

En los casos de la arnia 2 y 3 como las líneas son bastante uniformes, solo se ha tomado una medida.

En el caso de la subdivisión 2 de la Arnía y Covachos, sólo se obtuvo una medida por que la línea de acanilado es muy uniforme. (Figura 70)

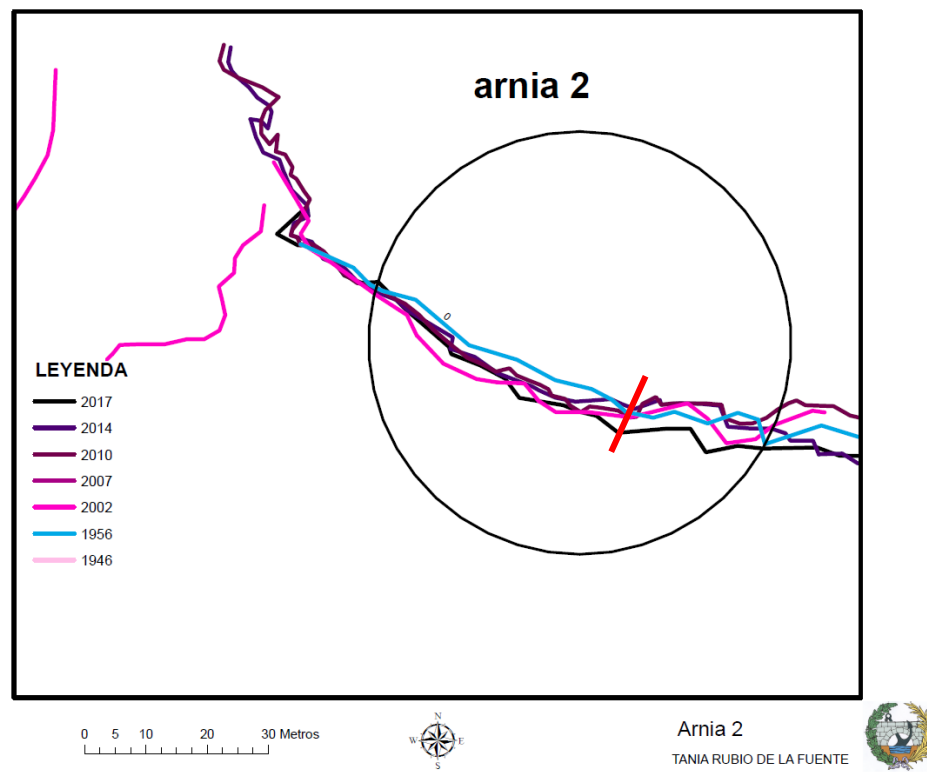


Figura 70: Mapa de las líneas de costa de la Arnía 2, se observa su evolución con el paso del tiempo y el retroceso de la línea. También se muestra la línea roja, que es donde se tomó la medida.

Las medidas de La Arnía 2 son las siguientes:

- De 1946 hasta 2002 se obtiene un retroceso total de 1,86 m, y una tasa de retroceso de 0,03 m/año.
- De 2002 hasta 2017 se obtiene un retroceso total de 2,95 m, y una tasa de retroceso de 0,19 m/año

Por último, en la Arnía 3, lo que se ha medido es el espacio de terreno entre la línea de acantilado y el agujero existente y efectivamente se ha descubierto que, con el paso de los años, este ha ido disminuyendo. (Figura 71)

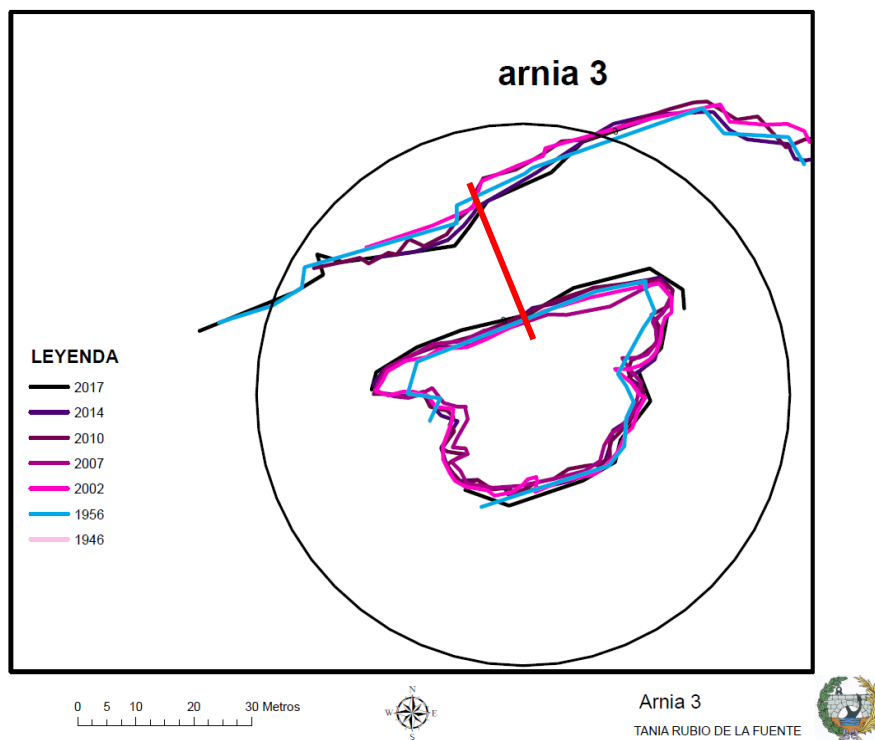


Figura 71: Mapa del entorno de la Arnía 3, donde se muestra el socavón. Se midió donde se encuentra la línea roja y lo que se midió fue el espacio que hay entre la línea de acantilado y el socavón.

Las medidas de La Arnía 3 son las siguientes:

- De 1946 hasta 2002 no se obtiene ninguna tasa ya que los años 1946 y 1956 no se consideran válidos.
- De 2002 hasta 2017 se obtiene un retroceso total de 2,76 m, y una tasa de retroceso de 0,18 m/año

ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS (MIENGO)

La playa de Caballos se ha dividido en tres partes en los resultados, playa de caballos 1, 2 y playa de caballos 3 (aparcamiento). (Figura 72) En este caso, en las dos primeras subdivisiones se han tomado dos medidas, una mínima y otra máxima y se ha hecho la media, pero en la última sólo se tomó una porque se observó un derrumbamiento en concreto.

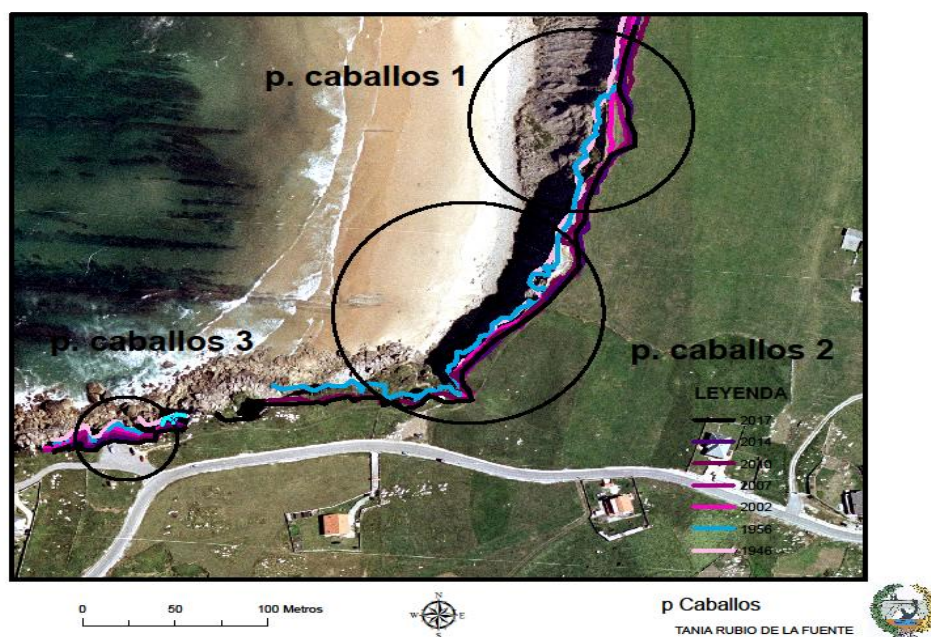


Figura 72: Imagen aérea de las cercanías de la Playa de Caballos. Se indican los tres sectores seleccionados (Caballos 1, 2 y 3), así como las líneas de acantilados cartografiadas sobre la base de las imágenes aéreas correspondientes a los años 1946, 1956, 2002, 2007, 2010, 2014 y 2017

Se empezará discutiendo los resultados que dio la playa de Caballos 1. Esta área se caracteriza en general por un gran deslizamiento rotacional en el cual se ven las distintas líneas de vegetación a distinta altura. Los dos grandes pasos del derrumbe se producen; el primero entre 1956 y 2002 y el segundo entre 2002 y 2007. (Figura 74). De hecho, al pie del acantilado se observa el sedimento acumulado de los derrumbes. (Figura 73)

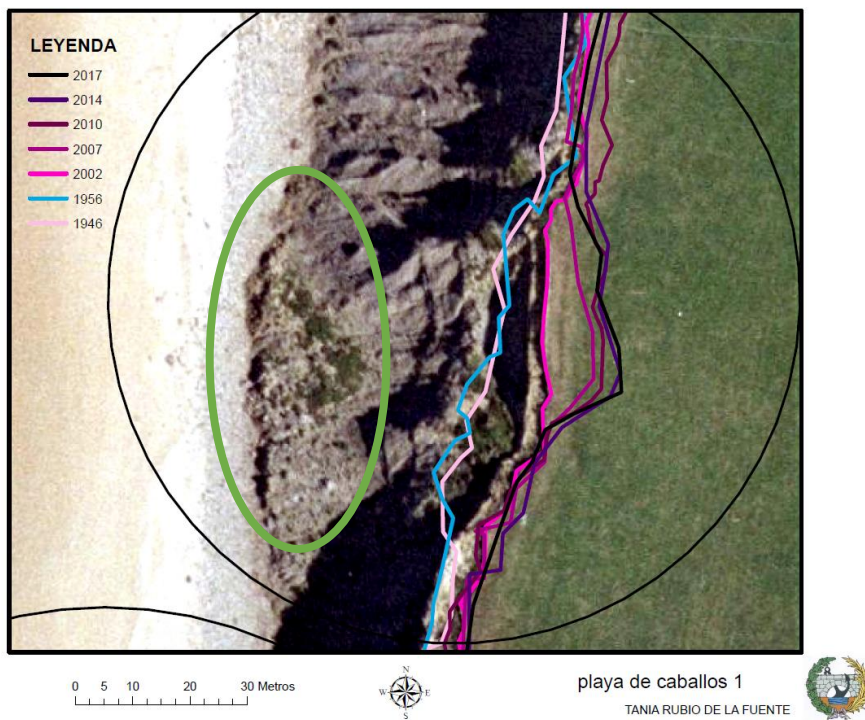


Figura 73: Mapa de Caballos 1 donde se muestran las líneas de acantilado de os diferentes años y rodeado con un ovalo verde se indica el residuo caído de los derrumbamientos.

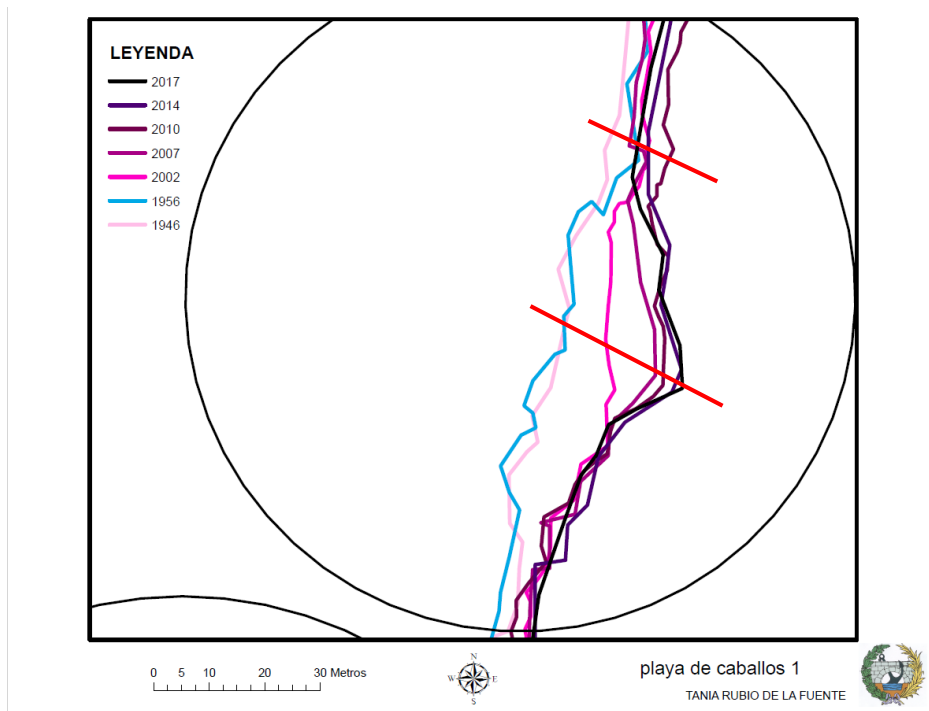


Figura 74: Mapa indicativo de donde se tomaron las medidas en Caballos 1 con las líneas de acantilado de todos los años estudiados. (Líneas rojas).

En la Figura 75, denominada como Playa de Caballos 2, se ha observado principalmente que entre 1956 y 2002 ha habido dos derrumbes grandes, el del este es más prominente ya que parece ser que había un montículo que en 2002 ya no hay, por la forma que había. Lo más indicativo de este derrumbe es el cambio de forma en la línea.

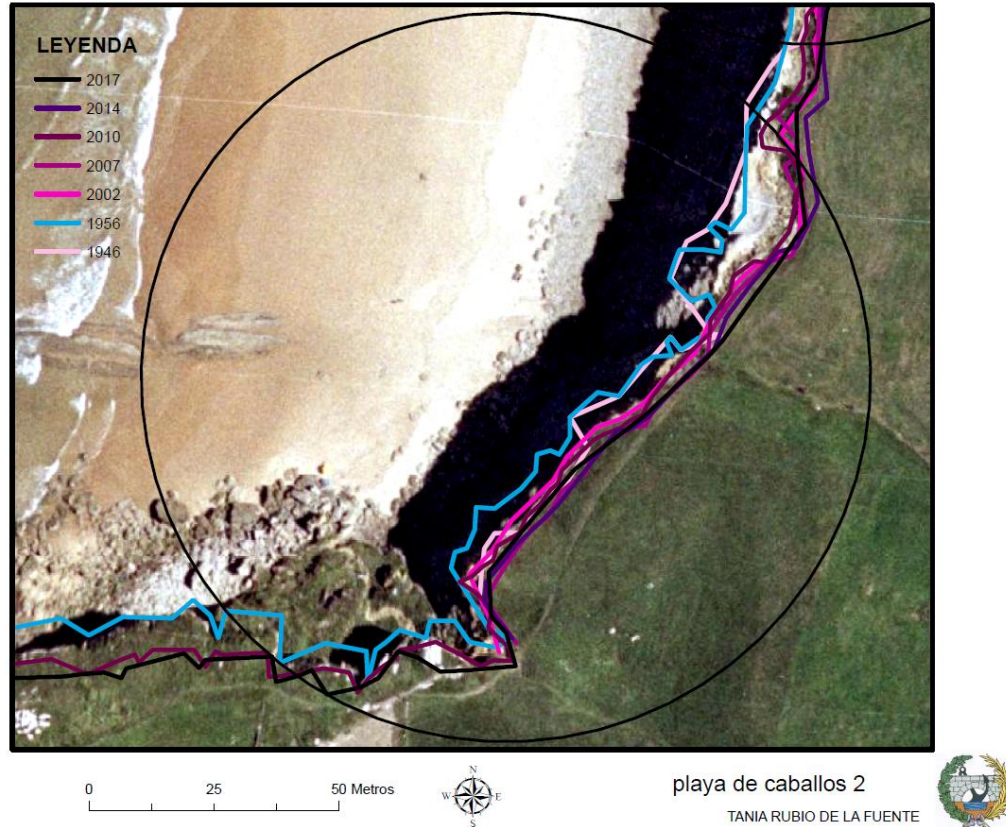


Figura 75: Mapa de la zona Caballos 2, con las líneas de acantilado de todos los años analizados sobre una fotografía aérea.

En la Figura 76 se presenta la evolución de la línea de acantilado representada por un color para cada año analizado. En cuanto a los años de 2002 a 2017 se observan pequeños deslizamientos que siguen la línea de los dos anteriores.

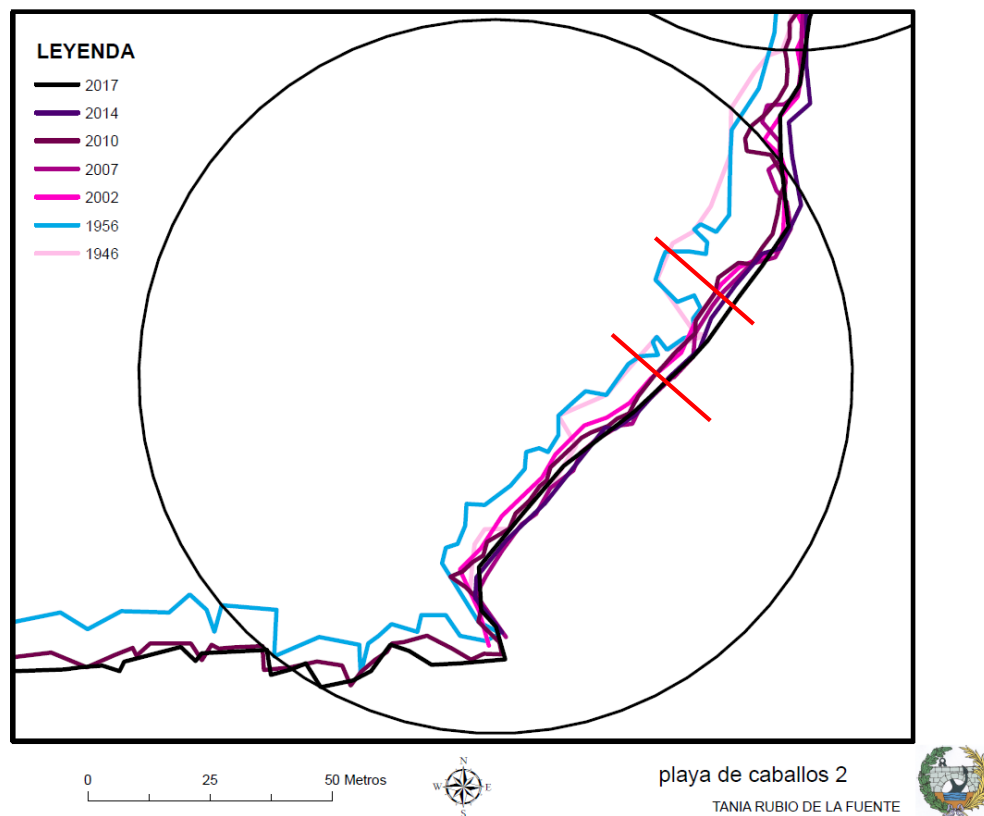


Figura 76: Mapa de las cercanías de la playa de Caballos que muestra la subdivisión Caballos 2 con las líneas rojas que indican donde se midió.

En la Figura 76 se muestra donde se tomaron las medidas; máxima y mínima y con ambas se hizo la media. Se procedió de esta manera porque el proceso de erosión no es uniforme en toda la línea de acantilado, por lo tanto y así se tienen unos resultados un poco más justos dentro de lo que puede obtenerse.

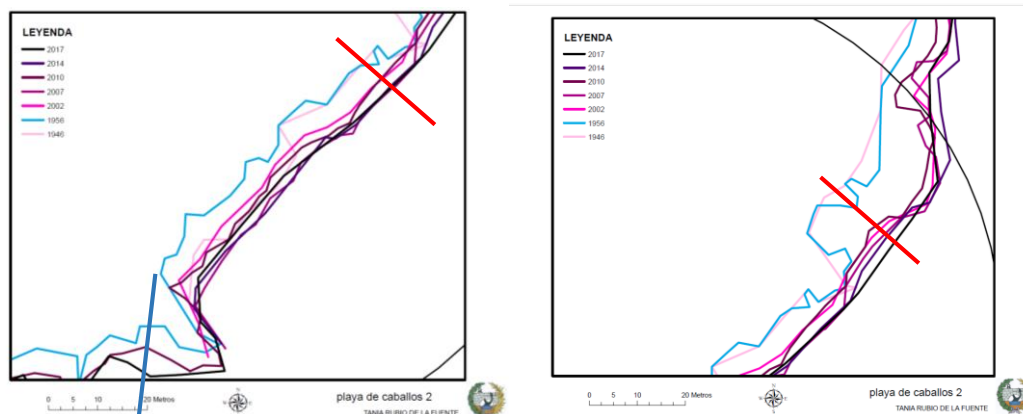


Figura 77: Líneas de acantilado ampliadas de caballos 1. Se muestran los dos grandes deslizamientos; a la derecha el más grande, a la izquierda el pequeño y el pico. En rojo la medida tomada. En azul el pico con medidas que llamaron la atención.

En la Figura 77 cabe destacar el pico que siempre ha estado ahí según las ortofotos y el vuelo americano de 1956 pero si es observable que con el paso de los años se hace más ancho. Los resultados de esta peculiar zona son:

- De 1956 hasta 2010 se obtiene un retroceso total de 6,14 m, y una tasa de retroceso de 0,13 m/año
- De 2010 hasta 2017 se obtiene un retroceso total de 3,9 m, y una tasa de retroceso de 0,53 m/año

En cuanto a la tasa de retroceso del área, se han obtenido los siguientes resultados:

- De 1946 hasta 2002 se obtiene un retroceso total de 7,98 m, y una tasa de retroceso de 0,14 m/año.
- De 2002 hasta 2017 se obtiene un retroceso total de 3,47 m, y una tasa de retroceso de 0,23 m/año

Por último, en el área de la playa de Los Caballos es destacable el aparcamiento ya que en verano tiene mucho movimiento de vehículos. Esta zona ha tenido una erosión muy acusada en los últimos 15 años. Midiendo la distancia entre la equina superior izquierda del aparcamiento y el acantilado se ha observado que, en los últimos tres años, ha habido un retroceso de aproximadamente 2 m. (Figura 78; Figura 79)

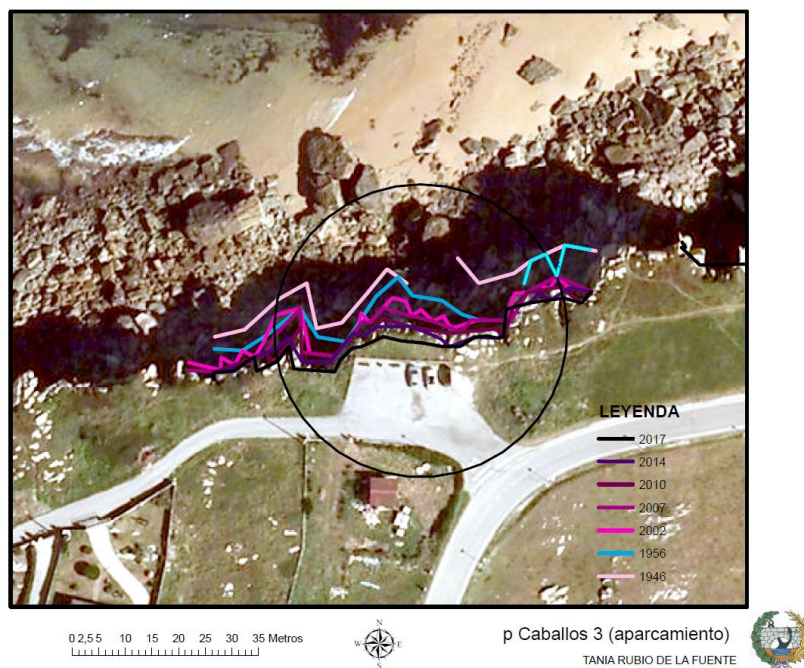


Figura 78: Mapa con las líneas de acantilado de los años analizados y sobre una fotografía aérea del área caballos 3.

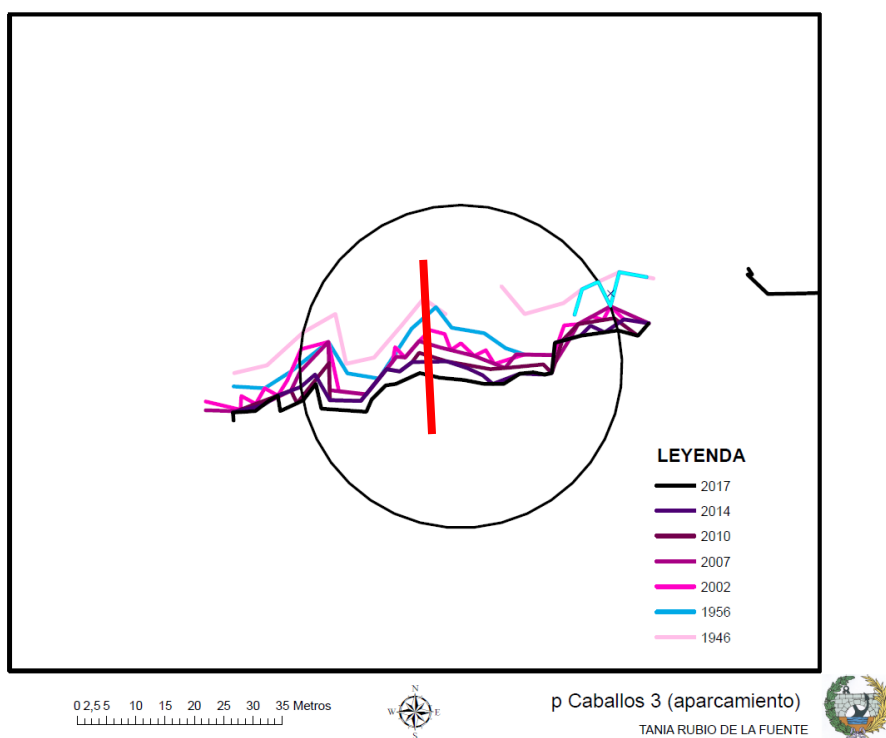


Figura 79: Mapa de la ubicación de donde se tomó la medida en caballos 3, aparcamiento.

La medida se ha tomado perpendicularmente al aparcamiento y a la línea de acantilado. Se han obtenido unas tasas de retroceso por erosión significativas:

- De 1946 hasta 2002 se obtiene un retroceso total de 5,47 m, y una tasa de retroceso de 0,09 m/año.
- De 2002 hasta 2017 se obtiene un retroceso total de 7,44 m, y una tasa de retroceso de 0,49 m/año

Análisis de los resultados.

Como se ha comentado anteriormente, para una mejor visualización de los datos, se han creados tres tablas (Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4) y una gráfica (Figura 82) en las cuales se puede analizar con detalle el retroceso y la tasa de erosión del acantilado, en las tres zonas estudiada.

La Tabla 2 muestra una síntesis de todos los datos recopilados para todos los años analizados y para todos los sectores de costa estudiados.

Para cada sector, se presentan las medidas mínimas, máxima y las medias que finalmente han sido utilizadas para el cálculo del retroceso relativo a cada año, así como el total del periodo y para las tasas de retroceso tanto para cada período, como para la tasa total. Los datos están expresados en metros (m), para lo que se refiere a las medidas de retroceso y en metros por año (m/año), los valores relativos a las tasas.

En la Tabla 3 se muestran las estimaciones de retroceso para cada período y los cálculos de las tasas de retrocesos relativas a cada período, así como para la totalidad de período analizado, o sea desde 1946 hasta 2017.

Por último, en la Tabla 4, se muestran los resultados de las tasas de retroceso expresado en porcentajes sobre el total y un nuevo valor que se ha denominado Factor de Aceleración, expresado en valor absoluto y en porcentaje.

El Factor de Aceleración se refiere a la relación entre la tasa de retroceso del primer segundo período (2002-2017) y la tasa de retroceso del primer período (1946-2002). Este factor se ha introducido para evidenciar aún más las diferencias existentes entre las tasas de retroceso entre los diferentes períodos analizados.

Por último, se reflejan los datos en una gráfica (Figura 82), con la intención de visualizar mejor los mismos.



ZONA	Min. 46-56	Max. 46-56	Media 46-56	Min. 56-02	Max. 56-02	Media 56-02	Min. 02-07	Max. 02-07	Media 02-07	Min. 07-10	Max. 07-10	Media 07-10	Min. 10-14	Max. 10-14	Media 10-14	Min. 14-17	Max. 14-17	Media 14-17
FARO 1	0	0	0	1,3	1,3	1,3	0,24	0,24	0,24	0,80	0,80	0,8	0,16	0,16	0,16	0	0	0
FARO 2	0,21	0,21	0,21	0,61	0,61	0,61	0,29	0,29	0,29	0	0	0	0,85	0,85	0,85	1,19	1,19	1,19
FARO 3	0,48	3,03	1,754	0,35	1,36	0,86	0,67	0,46	0,57	0,88	0,88	0,88	0,74	0,63	0,69	0,99	0,55	0,77
ARNIA 1	0	0	0	0,53	2,64	1,59	0	0	0	0,51	0,83	0,67	1,39	0,2	0,79	0,67	0,35	0,51
ARNIA 2	0	0	0	1,86	1,86	1,86	0	0	0	0	0	0	0,83	0,83	0,83	2,12	2,12	2,12
ARNIA 3	0	0	0	22,08	22,08	22,08	21,36	21,36	21,36	20,08	20,8	20,44	19,01	19,01	19,01	18,6	18,6	18,6
P. CABALLOS 1	2,62	1,32	1,97	1,91	8,4	5,16	0,61	8,52	4,57	0,21	1,44	0,83	0,58	2,5	1,54	1,06	0,98	1,02
P. CABALLOS 2	2,67	5,58	4,124	2,32	5,4	3,86	0,4	0	0,2	0	1,31	0,66	2,15	0,78	1,47	0,28	2,02	1,15
P. CABALLOS 3 (aparcamiento)	2,95	2,95	2,95	2,52	2,52	2,52	2,46	2,46	2,46	2,10	2,10	2,1	0,84	0,84	0,84	2,04	2,04	2,04

Tabla 2: Síntesis de los datos de resultados. Se muestran las medidas máximas, mínimas y medias de todos los años y para todos los sectores de costa analizados.



ZONA	R 1946- 2002	R 2002- 2017	R TOT 1946- 2017	TR 1946- 1956	TR 1956- 2002	TR 2002- 2007	TR 2007- 2010	TR 2014- 2010	TR 2017- 2014	TR 1946-2002 (56 años)	TR 2002-2017 (15 años)	TR TOT
FARO 1	1,30	1,20	2,50	0	0,03	0,21	0,08	0,16	0,05	0,02	0,08	0,04
FARO 2	0,82	2,34	3,16	0,02	0,01	0,06	0,04	0,21	0,11	0,02	0,16	0,04
FARO 3	2,61	2,89	5,50	0,17	0,02	0,06	0,05	0,05	0,03	0,05	0,19	0,08
ARNIA 1	1,59	1,97	3,56	0	0,03	0,32	0,09	0,03	0,09	0,03	0,13	0,05
ARNIA 2	1,86	2,95	4,81	0	0,04	0,37	0	0,21	0,43	0,03	0,19	0,07
ARNIA 3	0	2,76	2,76	0	0,48	0,14	0,13	0,36	0,14	0,00	0,18	0,04
P. CABALLOS 1	7,12	7,95	15,07	0,19	0,07	0,12	0,53	0,18	0,17	0,13	0,53	0,21
P. CABALLOS 2	7,98	3,47	11,45	0,41	0,01	0,73	0,07	0,20	0,11	0,14	0,23	0,16
P. CABALLOS 3 (aparcamiento)	5,47	7,44	12,91	0,29	0,01	0,01	0,05	-0,32	0,40	0,09	0,49	0,18

Tabla 3: Medidas de retroceso del acantilado en los diferentes sectores. Se reflejan los datos de retroceso para los dos primeros períodos (R) y totales (R TOT) expresados en metros, y las tasas de retroceso para cada período analizado (TR), así como los valores totales (TR TOT), expresados en m/año



ZONA	R 1946-2002 (%)	R 2002-2017 (%)	R TOT (%)	TR 1946-2002 (56 años)	TR 2002-2017 (15 años)	FACTOR DE ACELERACIÓN	FACTOR DE ACELERACIÓN (%)
FARO 1	52,00	48,00	100	0,02	0,08	x 3,5	300
FARO 2	25,95	74,05	100	0,02	0,16	x 11	1400
FARO 3	47,45	52,55	100	0,05	0,19	x 4	300
ARNIA 1	44,66	55,34	100	0,03	0,13	x 4	333
ARNIA 2	38,67	61,33	100	0,03	0,19	x 6	533
ARNIA 3	0,00	100,00	100	0	0,18		
P. CABALLOS 1	47,25	52,75	100	0,13	0,53	x 4	308
P. CABALLOS 2	69,69	30,31	100	0,14	0,23	x 1,7	64
P. CABALLOS 3 (aparcamiento)	42,37	57,63	100	0,09	0,49	x 5	400

Tabla 4: Resultados de las tasas de retroceso expresado en porcentajes sobre el total factor de aceleración en valor absoluto y en porcentaje.

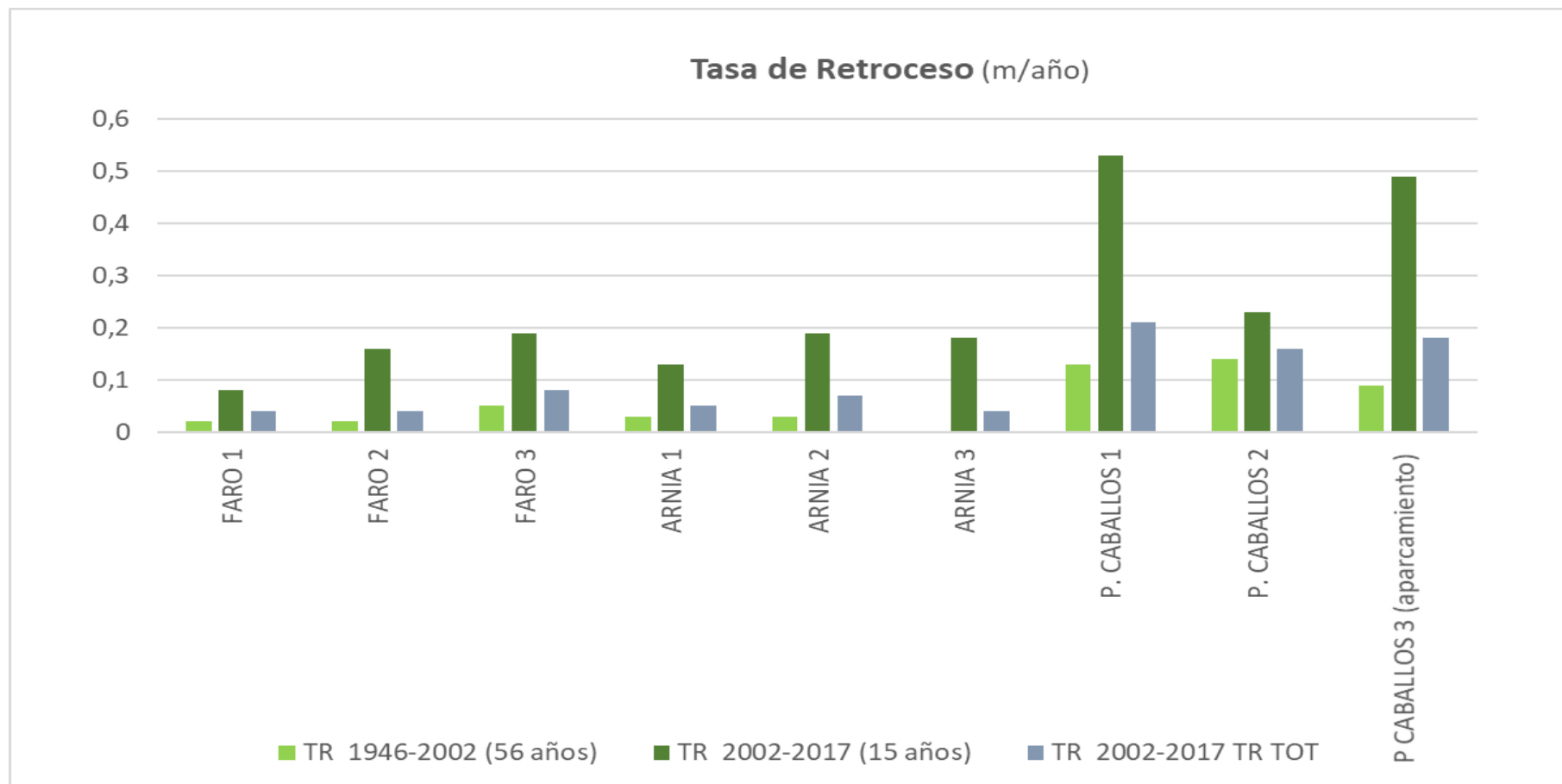


Figura 80: Gráfico con las tasas de retroceso del acantilado (m/año) para los dos periodos analizados (1946-2002; 2002-2017) y total (1946-2017).

Las principales conclusiones del estudio y que se deducen del análisis de los datos (Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4 y Figura 80), se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Como se puede apreciar en la Tabla 2, en algunos casos y para algunos períodos no se han podido obtener medidas de retroceso debido a fundamentalmente dos razones: por no haber habido erosión, con lo cual no ha habido retroceso en esa parte del acantilado o, debido a la calidad de las imágenes aéreas, no se ha podido identificar y cartografiar correctamente la línea del acantilado y por lo tanto medir el retroceso.

Por otro lado, en el caso del sector P. Caballos 2, el año 2007 en calidad es bastante bajo, por eso están las medidas en rojo, ya que se dieron por no validas.

- Los valores de retroceso oscilan entre un mínimo de 2,50 m y un máximo de 15,07 m. Los sectores que se han visto menos afectados por erosión, y por lo tanto que han registrado un retroceso menor son los de las zonas de Faro de Cabo Mayor y de La Arnía, mientras que los sectores que más han retrocedido entre el 1946 y el 2017, son los de la Playa de Los Caballos.
- Comparando las medidas de retroceso de los dos períodos principales analizados, se puede observar como los valores se equivalen con excepción del sector P. Caballos 2, para el cual en el segundo período (2002-2017) el retroceso ha sido bastante inferior (56%), y para el sector P. Caballos 3, donde en el segundo período el retroceso es bastante más acusado, aumentando un 36% aproximadamente.
- Para lo que se refiere a los valores de Tasa de Retroceso obtenidos para cada período analizado, se aprecia que en línea general no hay grandes variaciones, sin embargo cuando se entra en el detalle del análisis, se pueden evidenciar unos aspectos particularmente interesantes. Ante todo, se aprecia una clara y bastante marcada tendencia a un incremento de la tasa de retroceso a lo largo de todo el

período analizado, desde 1946 hacia 2017, y para todas las zonas (Figura 81, línea de tendencia).

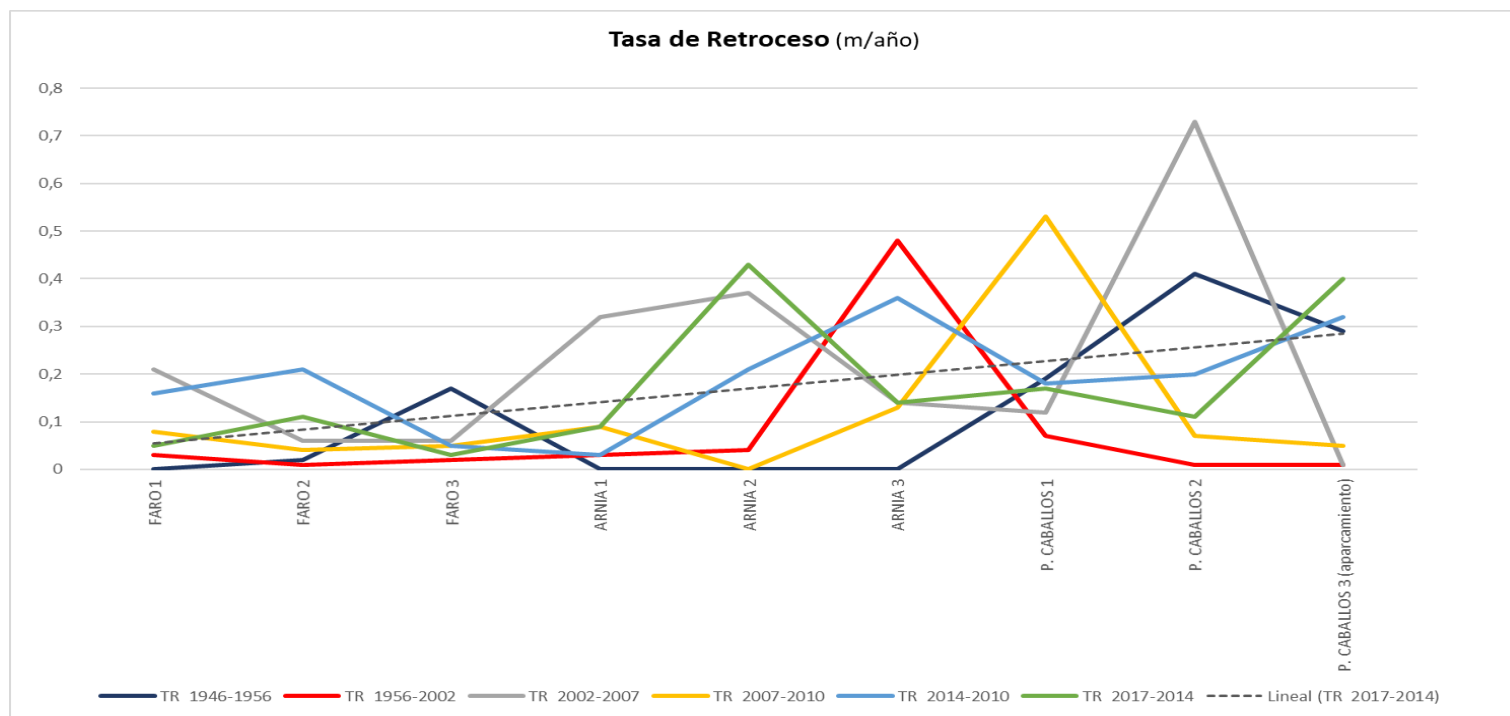


Figura 81: Representación de la evolución de la Tasa de Retroceso (m/año) a lo largo de todo el período analizado (1946-2017) para todos los sectores. Con línea negra y discontinua se representa la línea de tendencia.

- Por otro lado, si se analiza la evolución en cada zonas a lo largo del tiempo, aunque siempre se refleja un evolución creciente de la tasa de retroceso, se evidencias unos períodos concretos en los cuales ha habido una tasa de ersoión particularmente elevada, como es el caso de los períodos 2002-2007, y 2010-2014, y para todas las zonas (Figura 82).
- Por último, es evidente que la tasa de erosión ha sido bastante más eslevada en el período 2002-2017, en comparación con la tasa del paríodo anterior (1946-2002). En la Tabla 4se aprecia el Factor de Aceleración, que se ha definido de la relación entre la tasa de retroceso de la segunda epoca (2002-2017) que corresponde a 56 años, con respecto a la primera época (2002-2017) que corresponde a 15 años.

Como se pudo apreciar en las Tabla 2 y Tabla 3, aunque el retroceso para los dos períodos fue practimente el mismo, la tasa de retroceso, calculada con respecto a los años, fue bastante diferente.

Si analizamos el Factor de Aceleración, vemos que en todas las zonas, las tasas de retroceso correspondiente al segundo período ha sido cuatro o más veces más elevadas que la tasa en el primer período. Si analizamos los datos en términos de porcentaje, vemos como la tasa de retroceso del segudo período se han incrementado de un 300% aproximadamente,

hasta incrementarse de un 1400% en el caso del sector de Faro 2, donde ya se comentó que el principal proceso erosivo está constituido por caída de grandes bloques.

Por último y para recalcar la gravedad de la evolución del retroceso del acantilado en la costa alrededor de la Ciudad de Santander, cabe señalar que en la Figura 80, se percibe claramente que aproximadamente el 50% del retroceso total de los acantilados en la zonas estudiadas ha tenido lugar en los últimos 15 años, lo que resulta acorde con los resultados obtenidos por otros autores en relación con la gran aceleración asociada al cambio global.

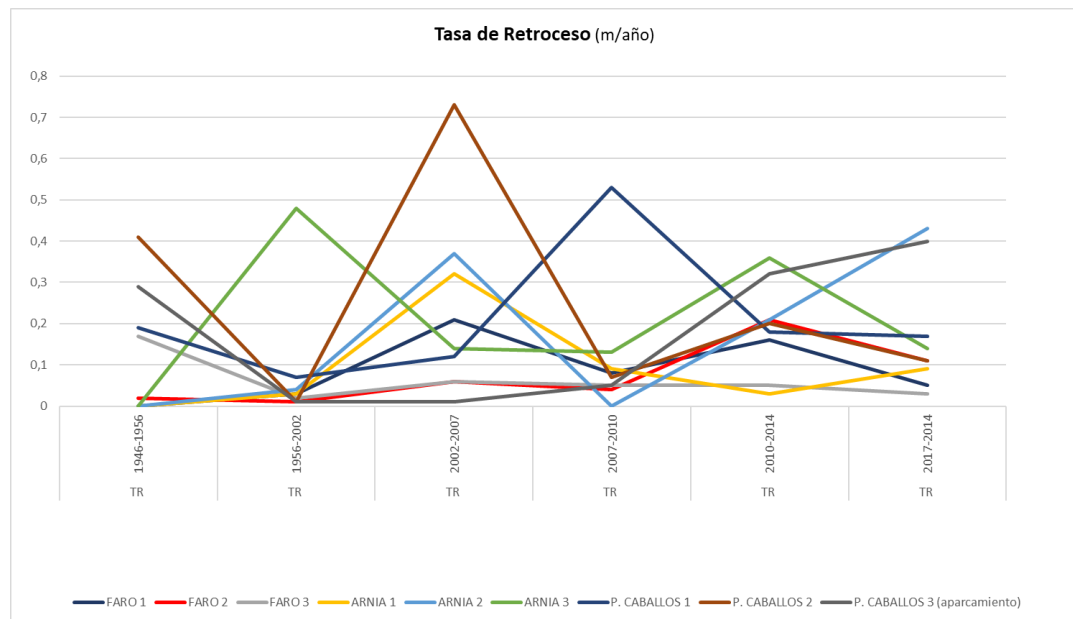


Figura 82: Representación de la evolución de tasas de retroceso (m/año), a lo largo de todo el período analizado y para cada sector estudiado.

- Por último, cabe señalar que de las tres zonas analizadas, la de la Playa de Los Caballos es, sin lugar a duda, la que refleja valores más altos de retroceso de acantilado, tanto en cuanto a valores en absoluto, como para lo que se refiere a Tasa de retroceso.

ANÁLISIS DE LOS FACTORES DESENCADENANTES DE LOS PROCESOS GRAVIATACIONALES.

Para intentar analizar la dependencia de los procesos de retroceso y erosión del acantilado en las zonas estudiadas, se ha querido dar un paso más allá, y analizar si existe alguna relación entre los acantilados en los cuales se ha registrado una mayor y menor susceptibilidad a la erosión y algunos de los factores que se considera puedan incrementar la susceptibilidad a deslizamientos como son el tipo de material (roca), la pendiente y la orientación.

Para el análisis de las litologías que caracterizan las zonas estudiadas, se ha considerado el mapa geológico y el de procesos que se han representado al principio de esta memoria (Figura 11 y Figura 21)

Para el análisis de pendiente y orientación, se han elaborado unos mapas que se muestran en las Figura 83 y Figura 84. En general, las zonas estudiadas corresponden a una orientación oeste, con excepción de la zona del faro de Cabo Mayor en Santander, cuya orientación es fundamentalmente noroeste (Figura 84).

En cuanto al factor pendiente, el área es prácticamente llana, ya que predominan las numerosas rasas, aunque, en la zona acantilada, que es la que interesa en este estudio, las pendientes oscilan entre un 35% y más de un 45 %; en algunos casos a la perpendicularidad, o sea unos 70° de pendiente, como ciertas zonas de la Arnía o de la playa de Caballos. (Figura 83).

Para lo que se refiere a estos tres factores y a la posibilidad de encontrar cierta relación con la tasa de retroceso, cabe señalar que en el caso de la playa de Los Caballos, la litología difiere algo de las otras zonas, siendo esta constituida fundamentalmente por limolitas y areniscas, rocas bastante más erosionable si comparadas con las margas y calizas que constituyen las otras dos zonas.

Por otro lado, en cuanto a la orientación, también cabe señalar que la playa de Los Caballos tiene una orientación noroeste, que corresponde con la dirección de los vientos dominantes en la región, que por lo general, se caracterizan por estar acompañados por fuertes tormentas., lo que suele desencadenar procesos de deslizamientos.

En lo que concierne la pendiente, no resulta ser un carácter discriminador, en cuanto todas las zonas estudiadas se caracterizan por pendientes acusadas y mayores del 45%.

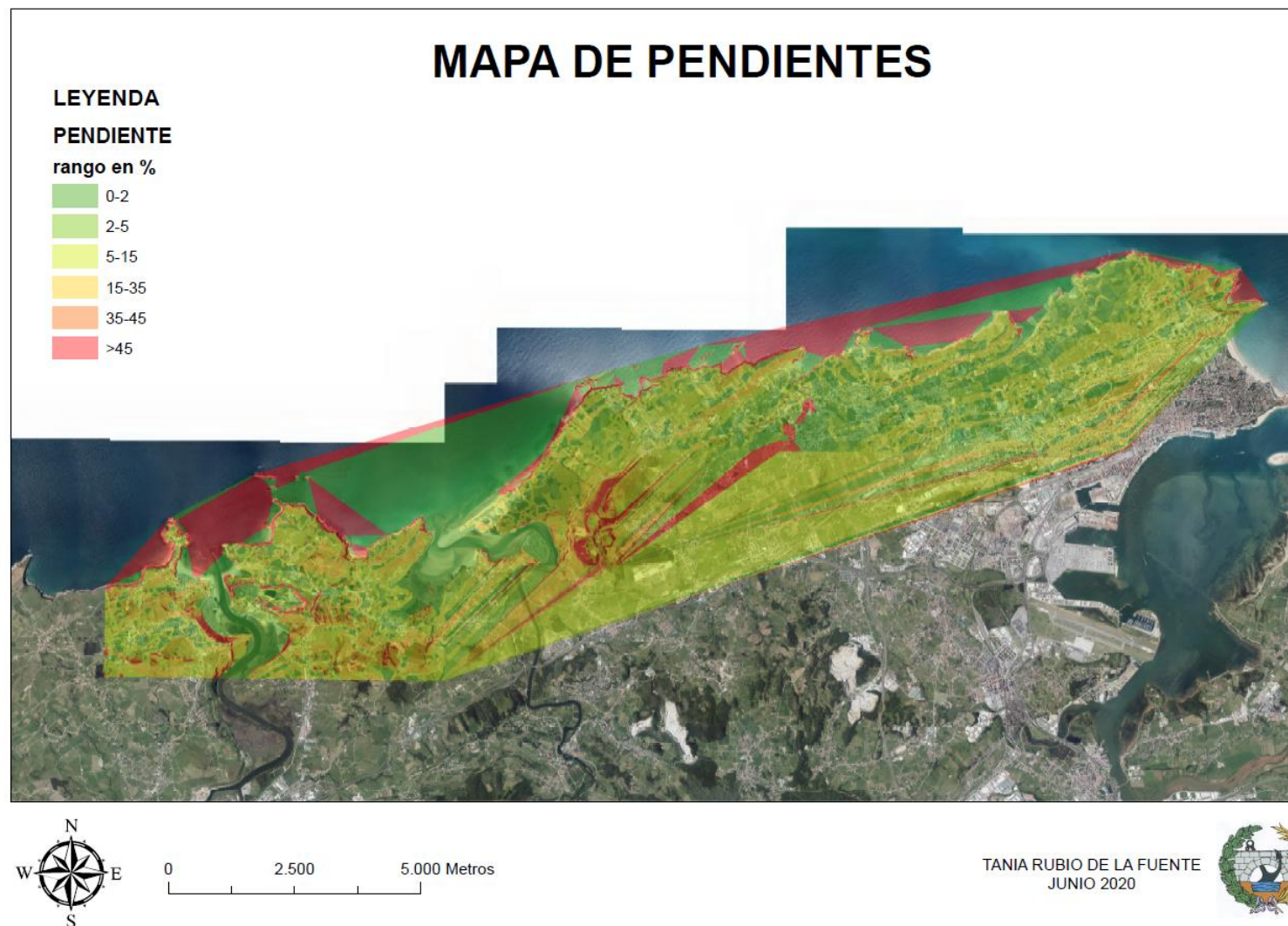


Figura 83: Mapa de pendientes. Creado con Arc Gis

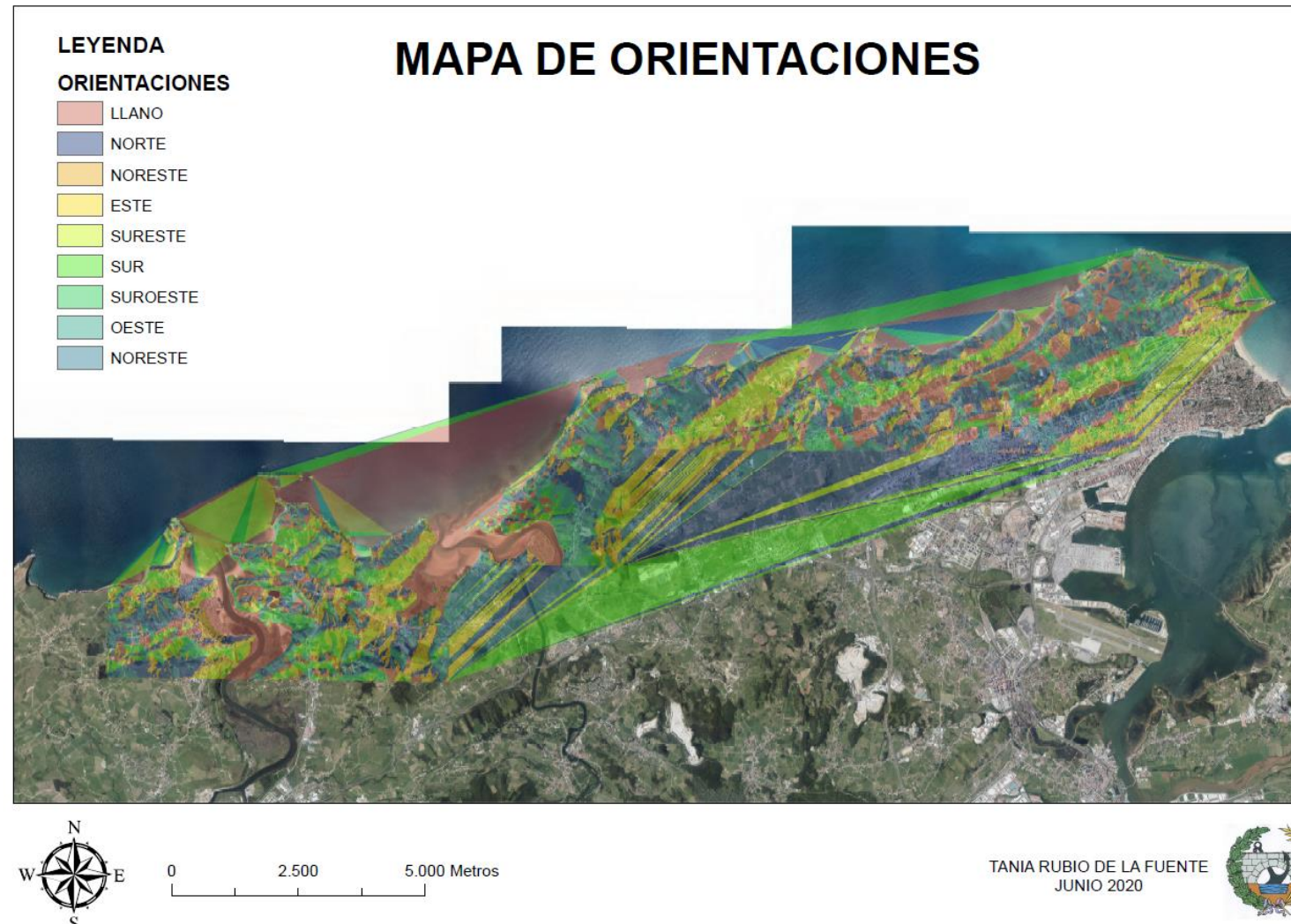


Figura 84: Mapa de orientaciones. Creado con Arc Gis

6. PROPUESTAS

En el caso de los acantilados hay tipos de propuestas, las que protegen al mismo, protegiendo su propia evolución, etc. y las que protegen el entorno del acantilado, personas, construcciones, etc. Las segundas tienen intención de contener el acantilado y las primeras de proteger el proceso natural del susodicho.

Una de las soluciones más eficaz y a su vez radical es no construir obras en una banda de 100 m con respecto a la línea de acantilado. Ni siquiera autorizar las mismas. (Es lo que propone la Ley francesa nº 86-2 [Littoral Aménagement, protection et mise en valeur du littoral]). También lo dice nuestra ley 2/2004; Plan de Ordenación del Litoral (POL)

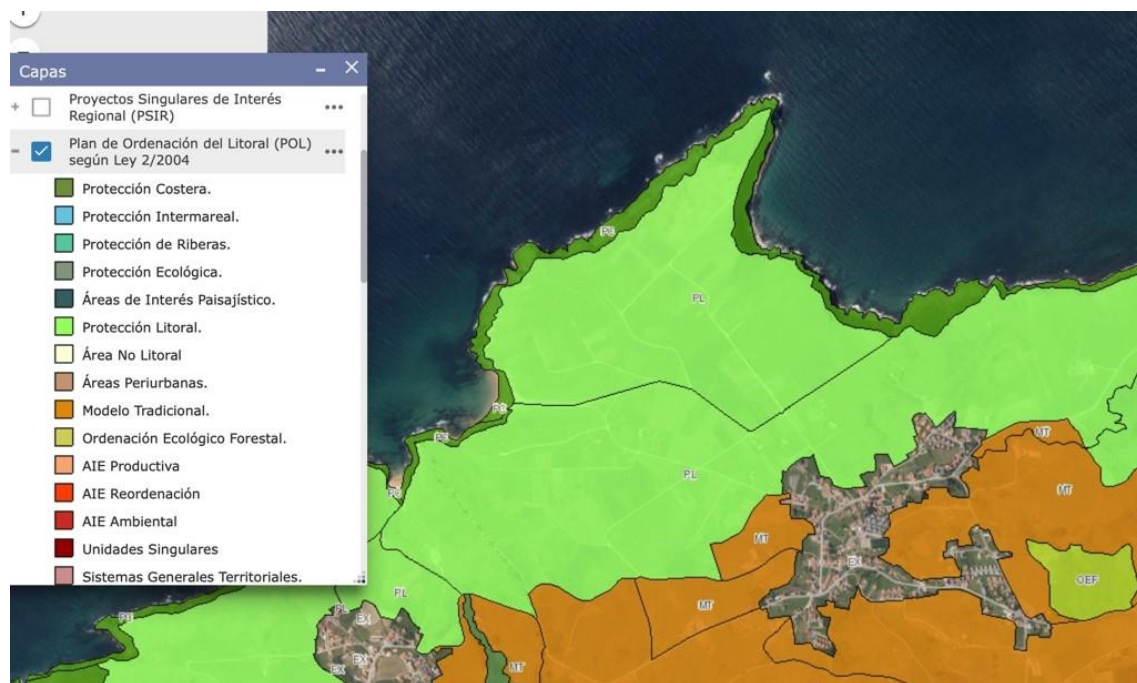


Figura 85: Plan de Ordenación del Litoral (POL). Ley 2/2004

Según CORIMAT existen dos medidas preventivas de acantilados posibles:

- Medidas que protegen el pie del acantilado, estabilizan el pie de acantilado y limitan en su capacidad la erosión del acantilado.
- Medidas de estabilización de la vertiente.

Hay que tener en cuenta que la estabilización de acantilados se opone a su evolución natural y por eso las soluciones que requieren no son las ideales.

MEDIDAS ELEGIDAS PARA LAS AREAS ESTUDIADAS

Se han elegido las medidas con tres criterios fundamentales: sostenibilidad, impacto paisajístico y entorno del acantilado.

Vegetalización

VENTAJAS

Permite ralentizar la escorrentía de las aguas continentales. Favorece la acumulación de sedimentos finos (estos limitan os fenómenos erosivos y las infiltraciones que provienen de la evo transpiración).
Es económico.
Es natural, aunque hay que tener cuidado con el tipo de vegetación utilizada.

INCONVENIENTES

Útil en pequeñas parcelas.
Solución temporal.

Geomalla

VENTAJAS

Favorece la vegetalización.
Alternativa compleja a bajo coste.
Medida sostenible.

INCONVENIENTES

Indicada para deslizamientos superficiales.
Requiere supervisión periódica

Malla galvanizada

VENTAJAS

Medida sostenible.

INCONVENIENTES

Estudios del proyecto son complejos.
Importante impacto paisajístico.

Delimitación de zonas al paso de la gente

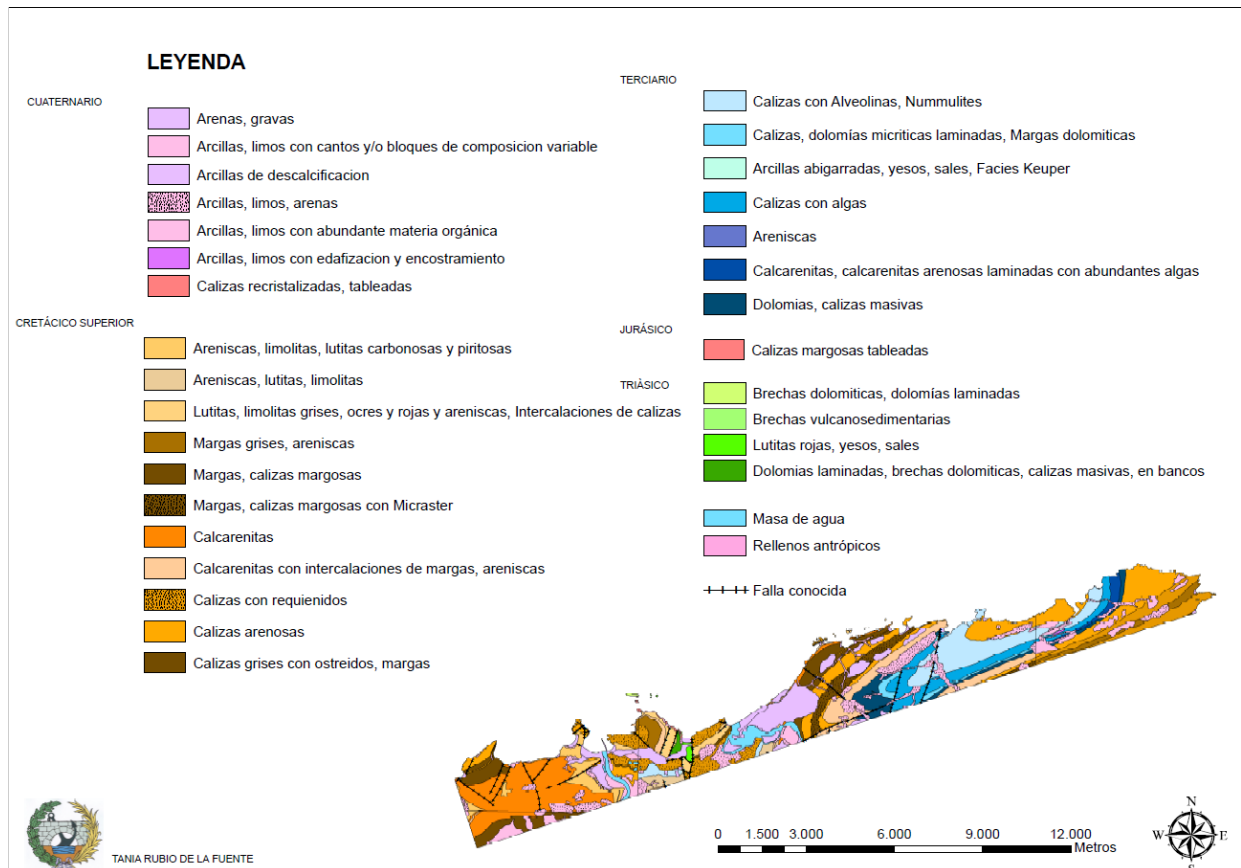
VENTAJAS

Protege a las personas de los derrumbes

INCONVENIENTES

Cantabria es una comunidad en la que el turismo es de gran interés y se vería afectado.

En general, y en las 3 áreas estudiadas se recomienda como primera medida la vegetalización, ya que las demás propuestas favorecen a esta primera y lo único que hace es favorecer a la estabilización del acantilado de una manera natural.



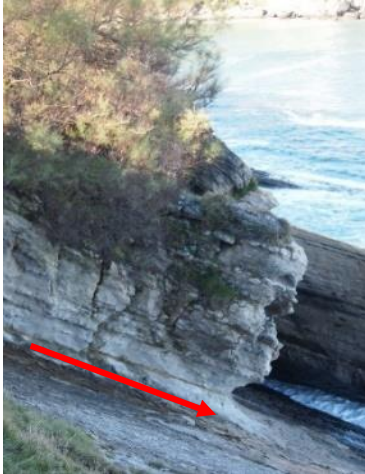
Según CORIMAT y específicamente para estos materiales en el acantilado, las soluciones serían:

- Si es un acantilado calizo
El riesgo principal es de desprendimientos (como es el caso del faro de Santander, anteriormente descrito)
Las soluciones es la vegetalización y la recarga de cordones litorales al pie del acantilado.
- Si es un acantilado margoso
El riesgo proviene de los deslizamientos rotacionales (como es el caso de La playa de Caballos).
Las soluciones podrían ser un contrafuerte de hormigón o simplemente el retroceso estratégico. Este último tiene mucho más sentido y es mucho menos agresivo con la zona.
- Si es un acantilado calcáreo.
El riesgo es el mismo que los primeros.
Pero en este caso las soluciones podrían ser los anclajes con pernos, etc.)

En todos los acantilados avisando con carteles preventivos de la altura y peligrosidad.

ZONA 1 CABO MENOR Y CABO MAYOR

En este caso, en la zona predomina la caliza, el procedimiento de evolución de acantilado es mediante la caída de bloques.



Además de que en muchas zonas la misma estratificación favorece a esta caída de bloques. Como bien se muestra en la foto de campo tomada el día 21 de noviembre.

Es una muestra de que la dirección de los estratos favorece a la caída de bloques, se demuestra por la pequeña U que se forma en la parte baja del bloque y por la línea que aparece entre la base del bloque y el resto de terreno (justo encima de la flecha roja) que indica que el agua fluye en ese espacio, lo cual facilita la erosión de la superficie y que posteriormente caiga). Además si se mira pausadamente, se ven como las raíces están desplazadas, también un indicar de inminente deslizamiento.

Como se comenta anteriormente, la vegetalización es un desacelador natural de la erosión de los acantilados, lo que sucede es que es costoso y conlleva tiempo, además de no ser todo lo efectivo que se necesita en la zona.

Entonces se obtienen dos factores complicados de combinar: área turística y probabilidad de derrumbes. Ante esta combinación, la recomendación es la delimitación de zonas al paso de la gente, al baño, a la construcción, etc. en resumen crear zonas restringidas o protegidas. Para proteger la vida de las personas como primer objetivo.

Esta intervención debe estar bajo el estudio de una simulación de caídas de bloques.

En la misma línea, existe la posibilidad de sensibilizar a la gente con este peligro existente.



También se propone la colocación de mallas galvanizadas para contener los pequeños bloques que puedan caer. Un ejemplo de ello es la malla galvanizada que se colocó en la playa de Mataleñas el día 21 de noviembre de 2019.

La foto muestra como colocaban la malla el día de trabajo de campo.



ZONA 2 COVACHOS Y LA ARNÍA

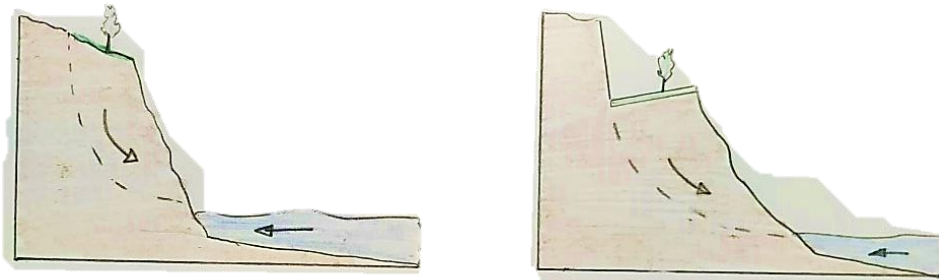
En estas áreas, los materiales se alternan en blandos (margas) y más duros (calizas), por lo cual el proceso de erosión del acantilado es diferente. Se alternan la caída de bloques con las caídas en masa de terreno.

Además, la zona más próxima a la playa de la Arnía y a la ensenada de la misma existen casas pegadas al acantilado que ya han perdido parte del jardín.

En este caso la propuesta ideal sería desalojar a las personas que habiten en dichas casas, pero esto es cuasi imposible, así que además de avisar y sensibilizar a los ocupantes de las viviendas, se propone la colocación de mallas galvanizadas, restringir ciertas áreas al paso de las personas por posible peligro. Aunque como ya se ha comentado anteriormente, para restringir áreas se necesita un estudio más detallado de caída de bloques.

ZONA 3 PLAYA DE CABALLOS (MIENGO)

En esta última zona, la erosión está caracterizada por el tipo de material, margoso y arenoso. Son materiales muy blandos y en consecuencia el proceso de evolución del acantilado va acorde con ellos.



Por eso la mejor propuesta es dejar que este acantilado siga su proceso natural y alejar las construcciones del mismo.

Además, también hay que tener en cuenta que se encuentra en zona de Parque Natural y que el entorno está lleno de dolinas que en cualquier momento podrían llegar a colapsar. Por esta razón las viviendas que se encuentran en esta área tienen grietas y humedades, las grietas son a causa de que el terreno se mueve y la humedad por la localización cercana al mar y que están construidas en el entorno de las dolinas.

Teniendo en cuenta esto, la vegetalización podría retrasar el proceso, pero no frenarlo. Visto ha quedado en el trabajo de campo que se lleva la vegetación por delante. Incluso hay vallas de madera totalmente tumbadas a causa de las tubificaciones internas del terreno que favorecen la erosión.



Figura 86: Dolinas en el entorno de la Playa de Caballos.



Figura 87: Estacas en el entorno de la Playa de Caballos

En la Figura 87 se muestra como las estacas están cayéndose y en la Figura 86 se observan las dolinas.



7. BIBLIOGRAFÍA

BIRD, E.C.F. (1983): Submerging coasts. The effects of a rising sea level on coastal environments. Wiley. Chicester

Bird, E. (2008). *An introduction* (p. 436). Chicester: Wiley-Blackwell (an imprint of John Wiley & Sons Ltd).

Bruschi, V. (2007). *Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad*. Santander: Universidad de Cantabria.

BOE.es - Documento consolidado BOE-A-2004-18333, Plan de Ordenación del Litoral (POL). Retrieved 2 May 2020, from <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2004-18333&p=20131210&tn=2>

CORIMAT. Soluciones alternativas para la protección de las costas (2017). Recuperado de https://corimat.net/wp-content/uploads/2017/03/2_Outil2_56P_ES.pdf

Cowell, P. J., & Thom, B. G. (1994). Morphodynamics of coastal evolution. In R. W. G. Carter & C. D. Woodroffe (Eds.), *Coastal evolution. Late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University Press.

Cuevas, geoformas y karstificación (2020). Retrieved 8 January 2020, from http://www.aranzadi.eus/wp-content/files_mf/1371811784GalanSintesis.Jk.Mayo2013.pdf

Díaz de Terán Mira, J., & Bruschi, V. (2016). *El litoral entre Santander y Liencres*. [Santander]: Ediciones de Librería Estudio.

Destrozos archivos | EL TOMAVISTAS DE SANTANDER. (2016). Retrieved 17 July 2020, from <https://eltomavistasdesantander.com/tag/destrozos/>

Destrozos. (2014). [Fotografía]. Santander.

Emery, K. O., & Kuhn, G. G. (1982). Sea cliffs: Their processes, profiles and classification. *Geological Society of America Bulletin*, 93.

Fotogrametría (2020). Retrieved 20 November 2019, from <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/713/course/section/736/Fotogrametria.pdf>

IGME. Instituto Geológico y Minero de España. Web Site Oficial España. Retrieved 20 August 2020, from <http://www.igme.es/>

Geología | COSTA QUEBRADA. (2020). Retrieved 20 August 2020, from <https://parquegeologicocostaquebrada.com/geologia/>

GEOMORFOLOGÍA (2020). Retrieved 20 February 2020, from



http://caminos.udc.es/info/assignaturas/grado_itop/113/pdfs/TEMA%209-3%20geomorfologia.pdf

Gutiérrez Elorza, M. (2008). *GEOMORFOLOGÍA*. [Madrid]: Pearson.

La costa en cifras. (2020). Retrieved 21 August 2020, from <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/07/LA-COSTA-EN-CIFRAS.pdf>

Ley nº 86-2, de 3 de enero de 1986, Littoral Aménagement, protection et mise en valeur du litoral. Ordenanza nº 2000-914 de 18 septiembre 2000. Recuperado de https://aida.ineris.fr/consultation_document/32683

Losada Rodríguez, I., Izaguirre Lasa, C., & Díaz Simal, P. (2014). *Cambio climático en la costa española* (p. 133). Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Centro de Publicaciones.

Morales, J. (2019). *The Spanish Coastal Systems*. Cham: Springer International Publishing.

Parque geológico costa quebrada (2020). Retrieved 13 January 2020, from https://parquegeologicocostaquebrada.com/wp-content/uploads/2016/11/folleto_bilingue.pdf

Rachas de viento de 126 kilómetros por hora azotan la costa cántabra. (2019). Retrieved 9 April 2020, from <https://www.eldiariomontanes.es/cantabria/rachas-viento-kilometros-20191103071439-nt.html>

Tar buck, E., Lutgens, F., Tasa, D., & Cientficias, A. (2005). *Ciencias de la tierra*. Madrid: Pearson Educación.



BIBLIOGRAFIA MAPAS

Cañas Fernández (2008). Mapa Geológico de Cantabria, Hoja 34-I, Suances. Escala 1:25.000. Gobierno de Cantabria, IGME.

Cañas Fernández (2008). Mapa de procesos activos de Cantabria, Hoja 34-I, Suances. Escala 1:25.000. Gobierno de Cantabria, IGME.

F. Moreno Serrano (2008). Mapa Geomorfológico de Cantabria, Hoja 35-I, Santander. Escala 1:25.000. Gobierno de Cantabria, IGME.

F. Moreno Serrano (2008). Mapa de procesos activos de Cantabria, Hoja 35-I, Santander. Escala 1:25.000. Gobierno de Cantabria, IGME.

J. Ramirez del Pozo, Ramírez del Pozo, J., Olivé davó A., Martín Alafont J. y M. J Aguilar Tomás (1975). Mapa Geológico de España, Hoja 35, Santander. Serie Magna, Escala: 1:50.000. IGME.

Larrondo Echevarria, E., Mediato Arribas J.F., Hernaiz Huerta P.P. (2008). Mapa Geológico de Cantabria, Hoja 35-I, Santander. Escala 1:25.000. Gobierno de Cantabria, IGME.

Portero García J.M., Olivé davó A., Martín Alafont J. y Ramírez del Pozo, J. (1974). Mapa Geomorfológico de España, Hoja 34, Torrelavega. Serie Magna, Escala: 1:50.000. IGME.

Solé Pont, F.J., Mediato Arribas J.F., Larrondo Echevarría E. y Hernaiz Huerta P.P (2008). Mapa Geológico de Cantabria, Hoja 34-II, Muriedas. Escala 1:25.000. Gobierno de Cantabria.

V. Cañas Fernández (2008). Mapa de procesos activos de Cantabria, Hoja 34-II, Muriedas. Escala 1:25.000. Gobierno de Cantabria, IGME.

V. Cañas Fernández (2008). Mapa Geomorfológico de Cantabria, Hoja 34-II, Muriedas. Escala 1:25.000. Gobierno de Cantabria, IGME.

